



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN



"LA EXCELENCIA ACADÉMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD"

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO



CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

REVISTA DIGITAL UNIVERSITARIA. ISSN: 2448-623X. PUBLICACIÓN ANUAL.

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

revistacid@itslerdo.edu.mx

<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>



VO
LU #1
MEN

NÚ
MERO 5

JUNIO
2019



Título de la revista:

Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

Junio 2019, Volúmen: 1, Año: 5, Número: 5

Editor:

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Junio 2019, Volumen 1, Número 5. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n Col. Periférico, c.p. 35150, Ciudad Lerdo, Durango, México. Teléfono: +52 (871) 7 25 23 71, ext. 134. Correo electrónico: revistacid@itslerdo.edu.mx, página web: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx>. Editor responsable: César Ríos Marmolejo. No. de reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2017-052914581300-203, ISSN: 2448-623X, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Centro de Cómputo: Ing. Marcos Morales Esparza. Edificio H. Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México. La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 28 de Junio de 2019.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

CONSEJO EDITORIAL

PRESIDENTE:

ISRAEL CASTRO MUÑOZ

SECRETARIO GENERAL:

JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO:

JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

EDITOR RESPONSABLE:

CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>

<https://www.lerdo.tecnm.mx/>

Comité Editorial

EDITOR RESPONSABLE:
CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

SUPERVISOR EDITORIAL:

KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO

ARTE, DISEÑO, Y SUPERVISIÓN TÉCNICA:

JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL

SUPERVISIÓN DE REDACCIÓN:

ELDA MORENO NÚÑEZ

SILVIA ADRIANA VIDAÑA MARTÍNEZ

TANIA ELIZABETH VELÁSQUEZ CHÁVEZ

ADRIANA REYNOSO SEGOVIA

PÁGINA WEB:

MARÍA GUADALUPE FLORES LUÉVANOS

DISEÑO DE PORTADA:

JOSÉ ÁNGEL GARCÍA ESCOBEDO

WEB MASTER:

MARCOS MORALES ESPARZA

COMITÉ REVISOR:

Adriana Reynoso Segovia, Antonio Mendoza Ruelas, Cecilia Inés Calderón Ibarra, César Octavio Márquez Aguirre, César Ríos Marmolejo, Elda Moreno Núñez, Erika Alejandra Meraz Salazar, Felipa de Jesús Rodríguez Flores, Francisco Huerta Valenzuela, Gabriela Mora Tovar, Hesner Coto Fuentes, José Ángel Candelas Saucedo, Juan Manuel Martínez Burrola, Juan Martín Arzola Monreal, Karla Verónica Rodríguez Lozano, Luis Amado González Vargas, María Guadalupe Flores Luevanos, Nancy Gabriela Marín Castañeda, Noé Alvarado Tovar, Omar Fabián Rivera Cenicerros, Victor Edi Manqueros Aviles.

e-mail: revistacid@itslerdo.edu.mx

CARTA DEL EDITOR

Junio de 2019

Estimados Lectores:

Una vez más estamos realizando la publicación de forma ininterrumpida de esta revista anual en su edición del 2019. En este quinto número me es muy grato poder contar con la participación de investigadores, docentes y estudiantes de diferentes instituciones tanto de la región Laguna como de diferentes estados de la República Mexicana que están trabajando con proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, que es parte esencial para el progreso de nuestro país.

Los invito a continuar con esta labor de investigación y desarrollo tecnológico, y seguir contribuyendo con nuevas ideas intelectuales y creadoras que den soluciones a problemáticas industriales y sociales, solo me resta decir en representación del comité editorial que les deseamos a todos nuestros lectores un año productivo y lleno de satisfacciones, esperando su participación para la próxima edición del 2020.

Los avances en la ingeniería son notables. Se dan en todas sus áreas y por ello no olvidemos que el objetivo fundamental de la Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo es contribuir a difundir el conocimiento científico-tecnológico, a través de la publicación de artículos de investigación donde se presentan los resultados de trabajos de estas áreas del conocimiento, por medio de su difusión en formato electrónico vía Internet, con el propósito de ampliar su alcance y así llegar a más personas interesadas en estas áreas.

Muy sinceramente
M.T.I. Israel Castro Muñoz
Presidente del Consejo Editorial

ÍNDICE

01. Modelado, simulación y desarrollo de un prototipo de biorreactor para la generación de biogás	02
» <i>A. Linares-Enríquez, R. López García.</i>	
02. Sistema de detección de fuego y monitorización de temperatura usando IoT.....	09
» <i>J.I. Vega-Luna, G. Salgado-Guzmán, M.A. Lagos-Acosta, J.F. Cosme-Aceves, F.J. Sánchez- Rangel.</i>	
03. Levantamientos topográficos con drones	15
» <i>O. Del Río-Santana, T. Espinoza-Fraire, A. Sáenz-Esqueda, F. Córtes-Martínez.</i>	
04. Análisis de la red logística de un crucero vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo.....	20
» <i>L.Fuentes-Rosas, A.G. López-Cabrera, L.G. Tobón-Galicia, C.G. Moras-Sánchez.</i>	
05. Reconocimiento de caracteres usando una tarjeta Zynq- 7000 SoC.....	26
» <i>J.I. Vega-Luna, G. Salgado-Guzmán, M.A. Lagos-Acosta, J.F. Cosme-Aceves, F.J. Sánchez- Rangel.</i>	
06. Utilización de residuos sintéticos para mejorar las capacidades de materiales para construcción	32
» <i>J. Rentería-Soto, J.R. Betancourt-Chavez, A.T. Espinoza-Fraire, J.A. Sáenz-Esqueda.</i>	
07. Prototipo para terapia o ablación de cáncer mediante microondas.....	36
» <i>R. L. Corral-Bustamante, A. Aragonez-Aguirre, J. U. Acosta-Arévalo, I. E. Parra-Domínguez y A. J. Lam-Bencomo.</i>	
08. Implementación de un sistema remoto de monitoreo y registro de la demanda y consumo eléctrico en tiempo real para un sistema de baja tensión.....	42
» <i>V. E. Manqueros-Avilés, L.A González-Vargas, A.J. Cordero-Escamilla, G.A. Torres-Astorga, J.G. Proo Pérez.</i>	
09. Modelado, simulación y desarrollo de un sistema eólico de baja potencia.....	49
» <i>A. Linares-Enríquez, J. Gervacio-De Jesus.</i>	
10. Validación de una red eléctrica pasiva operada como circuito integrador	56
» <i>A. Rodríguez Franco, J. A. Flores Ávila, C. U. Flores Prince.</i>	
11. Transformada z y la convolución discreta aplicada al estudio de una inversión financiera.....	63
» <i>A. Rodríguez Franco, C.U. Flores Prince, C. Ríos Marmolejo.</i>	
12. Aspectos que Impulsan e Impactan la gestión de la Innovación en los estudiantes del Tecnológico Nacional de México	68
» <i>E.A. Meraz-Salazar, O.A, García-Cano, O.R, Chagolla-Aguilar.</i>	
13. Simulación transitoria de un modelo electromagnético didáctico de elemento finito en 2D usando software libre	73
» <i>J. M. Díaz-Chacón, G. Cuevas-Ochoa, C. Amaro-Hernández, A. Navarro-Valle, V. Mata Brauer.</i>	

14. Simulación magnetodinámica del modelo de validación Team 7 usando software libre de elemento finito en 3D	79
» <i>G. Cuevas-Ochoa, J. M. Díaz-Chacón, C. Amaro-Hernández, A. Navarro-Valle, P. F. Rosales- Escobedo.</i>	
15. Calidad de vida laboral y su relación con la calidad de los productos terminados en la industria ATR.....	85
» <i>P. Solís-Robles, D.E. Villalpando-Jordan, M.I. Reyes-Luna.</i>	
16. Incremento de la rugosidad en el mármol tipo café tabaco mediante cristalización de sales por sulfato de sodio al 14%	90
» <i>A. M. Morales-Tassinari, J. Ramírez-Peña, P. Cruz-Ortega, J. A. Hernández-Zárate, A. Servín-Martínez.</i>	
17. Diseño de estándar para incrementar la eficiencia en el cambio de modelo en el área de fundición.....	97
» <i>R. Sánchez-Segovia, E. Segovia-Avila.</i>	
18. Reducción de tiempos de fluctuación mediante el balanceo de líneas en empresa automotriz.....	103
» <i>W. Avila, E. Segovia-Avila.</i>	
19. Mejoras en la estimación de estados de S.E.P. Adicionando PMUS a configuraciones óptimas utilizando análisis sensibilidad	109
» <i>F.S. Sellschopp-Sánchez, C.E. Conde-Limón, R. Vargas-Salas, R. Loera-Palomo, M.A. Rivero- Corona.</i>	
20. Estudio de la incorporación de un parque de generación eoloeléctrico de alta potencia a un S.E.P.	115
» <i>F.S. Sellschopp-Sánchez, J.M. Morales-Domínguez, R. Loera-Palomo, M.A. Rivero-Corona, C. Álvarez-Macías.</i>	
21. Impacto en la operación de un relé de sobrecorriente de tiempo inverso por tensión armónica en la red eléctrica.....	122
» <i>C.A Morales-Bazán, F.S. Sellschopp-Sánchez, J.A. Basurto-Mendez, M.A. Arjona-López, R. Loera- Palomo.</i>	
22. Estudio de resonancias armónicas en red eléctrica ante variación de carga	127
» <i>S. Martínez-Morales, F.S. Sellschopp-Sánchez, R. Loera-Palomo, M.A. Rivero-Corona, R. Vargas-Salas.</i>	
23. Quadratic step-up DC-DC converter for photovoltaic applications.....	133
» <i>D. de la Rosa-Romo, R. Loera-Palomo, F.S. Sellschopp-Sánchez, M.A. Rivero-Corona, C. Álvarez-Macías.</i>	
24. Diseño de fresadora CNC, multifuncional	139
» <i>M. Zavala-Silva, A. Caldera-Vidaña, A. Prieto-Sandoval, R.A. Varela-Frayre.</i>	
25. Aplicación de las herramientas de calidad para contabilizar el scrap en una empresa metal-mecánica	144
» <i>K.L Hernandez-Montoya, C.J. Pérez-Ascencio.</i>	

26.	Desarrollo e implementación de prototipo experimental para generación de energía eléctrica mediante una bicicleta estática y un generador eléctrico	149
	» <i>V. A. Maciel-Soto, N. Alvarado-Tovar, R. Adame-Delgado, J. Meza-Butrón, G. Galván Aguirre.</i>	
27.	Desarrollo e implementación de plataforma experimental para la estabilización de dos motores brushless con RASPBERRY PI	155
	» <i>I. Aguilera-Reza, N. Alvarado-Tovar, V. E. Manqueros-Avilés, J. A. Castillo-González, R. Chávez-Flores, M. Galarza-Bonilla, M. Hernández-Acosta, J. E. Macías-Castro, J. Quiralte-Valdez.</i>	
28.	Ingeniería de requerimientos aplicada a un software de gestión para los laboratorios de prácticas del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo	161
	» <i>E. Moreno-Núñez, M.G. Flores-Luévanos, K.V. Rodríguez-Lozano. J.M. Arzola-Monreal.</i>	
29.	Diseño y fabricación de bomba de infusión tipo jeringa para el análisis de muestras de papanicolau en citología líquida	168
	» <i>E.A. Reyes-González, S. Tello-Mijares, J.J. Linares-Aranda.</i>	
30.	Metodología para el diseño de actividades que potencie la eficiencia de cursos virtuales	174
	» <i>E.T. Aguirre.Mejía, S.L. Gómez Guerrero, R. Y. Gómez Guerrero, N. Villegas Alonso.</i>	
31.	Implementación del Modelo Integral de Acompañamiento Virtual (MiaV) para la eficiencia de procesos de enseñanza	179
	» <i>E.T. Aguirre.Mejía, F.J. Ramírez-Sandoval, L. Parada-Morado.</i>	
32.	Beneficios de la implementación de los estándares de calidad para la ingeniería de software	185
	» <i>D. C. Mex Álvarez, M. Escamilla de la Cruz, G. M. Estrada Segovia, L. M. Hernández Cruz, N. G. Ortiz Cuevas.</i>	
33.	Usabilidad de IceScrum y ScrumDesk como herramientas de gestión de proyectos ágiles Scrum.....	192
	» <i>L.M. Hernandez-Cruz, M. A. Mijangos-Ortiz, D.C. Mex-Alvarez, M.D. Flores-Guerrero, J.R. Cab- Chan.</i>	
	<i>Índice de autores.....</i>	<i>199</i>
	<i>Guía para autores</i>	<i>201</i>



**ARTÍCULOS DE LA REVISTA
CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO**

Modelado, Simulación y Desarrollo de un Prototipo de Biorreactor para la Generación de Biogás.

A. Linares-Enríquez¹, R. López García¹.

Resumen— El presente proyecto describe la implementación en cada una de las etapas del diseño de los elementos de un biorreactor. Se establece el modelo matemático para la determinación de las variables y parámetros más importantes, así como se describe el diseño mecánico del sistema, sus componentes y parámetros de funcionamiento como pH, humedad y temperatura. El control de un biorreactor tipo batch para la generación de biogás, establece construir un sistema de monitoreo de temperatura de lazo cerrado para un proceso de fermentación anaeróbica de desechos orgánicos. La propuesta para obtener el biogás es con tres contenedores, uno para la concentración de biomasa, el segundo para la producción del biogás mediante el proceso de fermentación, la transferencia de calor por conducción para el proceso de descomposición y obtener el combustible, el tercer contenedor se acumulará el biogás obtenido para su uso. El principal uso del biogás es como combustible de autoabastecimiento para equipos que utilizan gas L.P. La producción de biogás a partir de residuos biodegradables es considerada sustentable ya que es un subproducto de un proceso de tratamiento. El aprovechamiento energético del biogás a partir de residuos: ganaderos, lodos residuales, de efluentes industriales y residuos sólidos urbanos o frutas.

Palabras claves— Biogás, Biorreactor, Combustible, Diseño, Producción.

Abstract— The present project describes the implementation in each of the stages of the design of the elements of a bioreactor. The mathematical model is established for the determination of the most important variables and parameters, as well as the mechanical design of the system, its components and operating parameters such as pH, humidity and temperature. The control of a batch bioreactor for the generation of biogas, establishes the construction of a closed loop temperature monitoring system for an anaerobic fermentation process of organic waste. The proposal to obtain the biogas is with three containers, one for the biomass concentration, the second for the production of the biogas through the fermentation process, the heat transfer by conduction for the decomposition process and obtain the fuel, the third container the biogas obtained for its use will accumulate. The main use of biogas is as a self-supply fuel for equipment that uses L.P. gas. The production of biogas from biodegradable waste is considered sustainable since it is a byproduct of a treatment process. The energy use of biogas from waste: livestock, waste sludge, industrial effluents and urban solid waste or fruit.

Keywords— Biogas, Bioreactor, Fuel, Design, Production.

I. INTRODUCCIÓN

Se desarrolla un proyecto de biorreactor tipo batch para la producción de biogás como una alternativa de aprovechamiento de desechos orgánicos y una opción de la reducción de consumo de gas L.P., para poder generar un ahorro económico en los inmuebles, ya que para la obtención de este biogás se necesitan los desechos de comida, frutas, entre otros, generando así un gas más económico con materia prima que se considera como basura y, para la sustentación de las familias, así mismo el residuo que se genere de este proceso puede ser empleado como abono para la producción de algunas plantas frutales.

Esto se lleva a cabo mediante el modelado y simulación del sistema de producción de biogás y el sistema auxiliar para el proceso térmico de aceleración de producción, implementando el desarrollo del biorreactor, la propuesta para la producción es a través de un sistema de contenedores, obteniéndose dos productos, uno, el gas y el otro un abono, determinando las características del equipo desarrollado.

Se analiza el comportamiento mecánico y térmico a través del análisis del elemento finito del biorreactor y sistema de calentamiento, además de los componentes para el sistema de agitación del producto del biorreactor y el sistema de bombeo para el sistema de calentamiento y recirculación.

El proyecto pretende dar solución a uno de los problemas que es la contaminación ambiental ya que el mismo biogás puede ser empleado como combustible por lo que se establece un sistema de control de temperatura, presión y de pH para así de una manera tener el sistema de generación del biogás controlado. Para la parte del control de temperatura se contara con un sistema de transferencia de calor por convección mediante un serpentín para transferir calor al biorreactor.

Al diseñar un biorreactor se debe de tener en cuenta las características del proceso a realizar, asegurar las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos y la obtención del producto final deseado. Se enfatiza en las necesidades para el control de los

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, Santiago Tilapa, C.P. 52650, Santiago Tianguistenco, Estado de México, México.

* alejandra.linares@test.edu.mx.

parámetros tales como homogeneidad, temperatura, pH y concentración inicial de glucosa.

En México el 53% de la basura que se genera es orgánica y 47% inorgánica, esta última se clasifica en reciclable y no reciclable. En 2010, se generaron diariamente en el país 109 mil 750 toneladas de residuos sólidos. El Estado de México es uno de los estados que más generan basura de la cual más del 50% es basura orgánica la cual solo es depositada en los basureros y no se genera un aprovechamiento de ella. En la actualidad el costo y consumo de gas LP se va incrementando y la generación de basura aumenta cada día más y más, este proyecto busca aprovechar los residuos y poder sustituir el consumo de gas LP y disminuir la contaminación por los desechos

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El manejo de los residuos sólidos en inmuebles está a cargo de diferentes instancias según su lugar de generación y su tipo. La obtención de residuos en el proyecto será a través de los municipios, empresas, en los mercados, ganaderías y en instituciones, como los generados en cafeterías, aprovechando los residuos de frutas, entre otros, en estos lugares se colocarán contenedores que servirán para ser trasladados y utilizados para la obtención del biogás [1].

Por lo cual se pretende implementar un recipiente para la recolección de desechos orgánicos en las áreas que genere, separándolos por tipo de desechos para su aprovechamiento que se propone en la Figura 1, se muestra un depósito de desechos [2].



Figura 1. Depósito de desechos. Elaboración propia.

Normas aplicadas.

Los recipientes sujetos a presión representan riesgos muy altos para la industria y sus trabajadores, por tanto, son sujetos de lineamientos normativos estrictos y precisos, basados en la NOM-020-STPS-2011 y normas internacionales aplicables. La NOM-020-STPS-2011 establece las especificaciones mínimas de diseño y fabricación de los recipientes sujetos a presión para contener Gas L.P., en el caso del proyecto es biogás.

Asimismo, la norma incluye los métodos de prueba que deben cumplir los recipientes no transportables en materia

de presión, así como el procedimiento de evaluación de la conformidad correspondiente.

Esta Norma Oficial Mexicana se complementa con las siguientes normas vigentes o las que las sustituyan.

- **NOM-018/3-SCFI-1993**
- **NOM-012/2-SEDG-2003**
- **NOM-012/3-SEDG-2003**

Modelado matemático del biorreactor con ecuación característica.

Para el modelo matemático se analiza el balance de masa correspondiente a un biorreactor continuo de mezclado perfecto, para lo cual partimos de lo siguiente:

1. Al realizar el mezclado, el fluido entra al primer tanque, donde se establece la composición entre la fruta y el disolvente para hacer el fluido menos viscoso para su introducción al biorreactor.
2. Estando la mezcla en el biorreactor, a través de un sistema de agitación, las propiedades del fluido se aceleran, como la concentración del microorganismo, que son homogéneas en todo el volumen.
3. Como el flujo volumétrico de alimentación es igual al flujo volumétrico del fluido que sale del tanque, el volumen es constante. [3]

En la Ecuación (1) se muestra el modelo matemático para obtener la ecuación característica.

$$\left\{ \frac{dm}{dt} \right\} = \{x_1 F\} - \{x_0 F\} + \left\{ \left(\frac{dm}{dt} \right)_G \right\} - \left\{ \left(\frac{dm}{dt} \right)_D \right\} \tag{1}$$

- $\frac{dm}{dt}$ = Variación de la masa dentro del sistema.
- $x_1 F$ = Flujo de masa que entra al sistema.
- $x_0 F$ = Flujo de masa que sale del sistema.
- $\left(\frac{dm}{dt} \right)_G$ = Concentración dentro del sistema de concentración.
- $\left(\frac{dm}{dt} \right)_D$ = Disolución dentro del sistema de concentración.

La concentración dentro del tanque se aproxima a la concentración de alimentación. Si D es ligeramente mayor que μ_G , entonces la concentración del tanque será mucho mayor que la inicial, esto puede ser conveniente pero la respuesta dinámica del sistema será más lenta. Aplicamos la transformada de Laplace, partiendo de condiciones iniciales nulas.

- D = Velocidad de disolución.
- μ_G = Velocidad específica de crecimiento.

$$x_1(s) = \frac{D}{s + (D - \mu_G)} x_0(s) \tag{2}$$

De la cual se obtiene:

$$x_1 = \frac{D}{D - \mu_G} x_0 \tag{3}$$

En la Figura 2 se muestra un diagrama de bloque donde se muestra el modelado del biorreactor en Simulink.

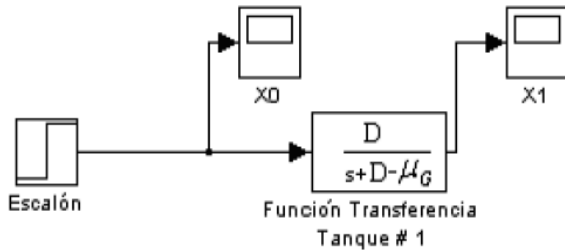


Figura 2. Modelado del biorreactor en Simulink. Elaboración propia.

Presión de diseño.

La presión de diseño en este tipo de recipientes debe ser de 1,2 MPa.

En función del radio interior.

a_1) Esfuerzo circunferencial.

$$t = \frac{PRi}{SE - 0.6P}; P = \frac{SEt}{Ri + 0.6t} \tag{4}$$

a_2) Esfuerzo longitudinal.

$$t = \frac{PRi}{2SE + 0.4P}; P = \frac{SEt}{Ri - 0.4t} \tag{5}$$

En donde:

- t=Espacio mínimo de pared.
- P=Presión de diseño del recipiente.
- Ri=Radio interior del cuerpo del recipiente.
- S=Esfuerzo máximo permisible del material (Factor de seguridad de 3.5).
- E=Eficiencia de junta solidada.

Sistema de Agitación.

Tiene la función de generar la potencia necesaria para producir una mezcla perfecta para el sistema de cultivo y producir un régimen de agitación adecuado que maximice la difusión de gases en el líquido y minimice la producción de esfuerzos cortantes y la presión hidrodinámica local y global, para optimizar los fenómenos de transferencia de momentum, calor y masa.

El agitador se compone de un sistema de motor monofásico de 0.25 hp, 1800 rpm, 115/230 Volts, 5.6/2.8 amp, que moverá un sistema de poleas con una relación de giro de 4.06, para mover el agitador de cuatro palas a 444 rpm, este sistema establecerá el mezclado dentro del biorreactor. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, los que se evitan utilizando placas deflectoras, que se proponen en el diseño de las aspas como se muestra en la Figura 3, estableciendo un aspa de 4 palas.

Al considerar estos parámetros se estableció el diseño del biorreactor como se muestra en la Figura 3. [4]

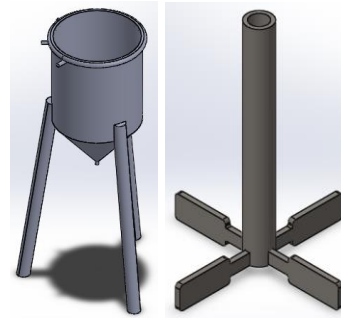


Figura 3. Diseño del biorreactor y agitador. Elaboración propia.

Al tener el diseño del biorreactor se ensambla con el primer depósito que el de premezclado y se conecta al biorreactor donde se genera el biogás, además con la ayuda del agitador se hace homogénea la mezcla como se muestra en la Figura 4 [2].



Figura 4. Premezclado y biorreactor. Elaboración propia

Numero de Reynolds.

Para lograr la agitación deseada se calcula la potencia del motor, la cual consiste en determinar el número de Reynolds (NR_e), el número de potencia para los impulsores (N_p) y por último la potencia del motor en hp se calcula la Ecuación (3).

$$NR_e = \frac{(d^2 N_p)}{\mu} \tag{3}$$

- N Re=Numero de Reynolds (adimensional).
- d=Diámetro del impulsor =27.6cm =0.276.
- N=Velocidad del motor =1800rpm =30rps.
- ρ =Densidad de mezcla del reactor =1060 Kg/m³
- μ =Velocidad de mezcla del reactor =0.113/Kg/m

$$NR_e = \left[\frac{(0.276m)^2 (30rps) \left(\frac{1060Kg}{m^3} \right)}{\left(\frac{0.113Kg}{m} \right)} \right] = 21437.139$$

Número de Froude.

El número de Froude es importante en situaciones donde existe la formación de vórtice en la superficie del líquido y puede ser despreciado generalmente cuando el número de Reynolds es menor a 300 y se analiza con la Ec. (4).

$$Fr = \frac{DN^2}{g} \tag{4}$$

$$Fr = \frac{(0.005m)(6684508rps)^2}{9.81 m/s^2} = 22774 \times 10^6$$

Dónde:

g =Aceleración de gravedad $(9.81 \frac{m}{s^2})$.

D =Diámetro del agitador.

Eficiencia Hidráulica del impulsor.

La combinación de los números de potencia, de bombeo y la relación geométrica adimensional (D/T) da como resultado la eficiencia hidráulica del impulsor, que indica la capacidad de convertir la energía consumida por el impulsor en bombeo del material líquido analizada en la Ec. 5.

$$E_p = \frac{N_Q^3}{N_P} \left(\frac{D}{T}\right)^3 \tag{5}$$

$$E_p = \frac{(698131.6601)^3}{(199.275 \times 10^{-9})} \left(\frac{0.005m^3}{0.30m^3}\right)^3 = 7905.0647 \times 10^6$$

El pH en un digestor anaeróbico inicialmente decrecerá con la producción de ácidos volátiles. Sin embargo, como las bacterias productoras de metano consumen los ácidos volátiles y la alcalinidad es producida, el pH del digestor incrementa y después se estabiliza. En un tiempo de retención hidráulica mayor a 5 días, las bacterias productoras de metano comienzan rápidamente a consumir los ácidos volátiles, al mismo tiempo existen diversas formas para mantener la temperatura deseada en el interior del biorreactor, de acuerdo con la ley de la termodinámica existen tres formas de transferir o recibir calor de un cuerpo a otro, el proyecto considera la conducción como se muestra en la Ec. (6):

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{6}$$

Transferencia de calor en sistemas cerrados.

La interacción entre el sistema y su entorno que ha tenido lugar en el último caso se denomina interacción calor o transferencia de calor Q . El calor y el trabajo son los únicos mecanismos mediante los cuales se puede transferir energía a través de la frontera de un sistema cerrado.

En un biorreactor operado apropiadamente se tiene un pH de entre 6.8 y 7.2, esto ocurre a medida que los ácidos volátiles son convertidos a metano y dióxido de carbono. El pH de un sistema anaeróbico es significativamente afectado por el contenido de dióxido de carbono del biogás.

La diferencia entre el cambio de energía y el trabajo neto es una definición operacional de la interacción calor que ha tenido lugar. Una cantidad diferencial de calor puede definirse en función del flujo de calor \dot{Q} como se muestra en la Ec. (7). [5]

$$\delta Q = \dot{Q} dt \tag{7}$$

Como resultado, para un proceso entre los cambios de energía y el trabajo neto se establece la Ec. (8):

$$Q_{12} = \int_1^2 \dot{Q} dt = \int_1^2 \delta Q \tag{8}$$

Conservación de la energía para sistemas cerrados.

En un sistema cerrado reordenando la ecuación de modo que la variación de energía quede en el lado izquierdo, se obtiene la Ec. (9):

$$\Delta E_{mc} = E_2 - E_1 = Q + W \tag{9}$$

Esta ecuación establece la ley de la conservación de la energía para un sistema cerrado. Se conoce también como balance energético general para un sistema cerrado.

La capacidad de un material para absorber energía sin fracturarse se conoce como su tenacidad UT , también conocido como módulo de tenacidad y , es proporcional al área por debajo de la curva esfuerzo-deformación hasta su punto de fractura. La tenacidad se puede definir como se establece en la Ec. (10): [6]

$$UT = \int_0^{S_{ut}} \sigma d\epsilon = \left(\frac{S_y + S_{ut}}{2}\right) \epsilon \varphi \tag{10}$$

Elementos auxiliares.

El sistema hidráulico que se propone en el diseño, consiste en la fabricación de una estructura metálica que soporte todo el proyecto, tanto el sistema auxiliar como el de generación de biogás, los materiales que se utilizaron son:

- 4 barras de ángulo de 6 m.
- 4 barras de PTR de 6 m.

La cual forma el esqueleto del proyecto, soporta los elementos necesarios para realizar la recirculación del sistema hidráulico, compuesto por un calentador solar, tubería, tanque de recirculación y sistema de bombeo, así como el sistema de generación de biogás, que contiene el sistema de agitación y biorreactor para la obtención del biogás, como se muestra en la Figura 5 [2].

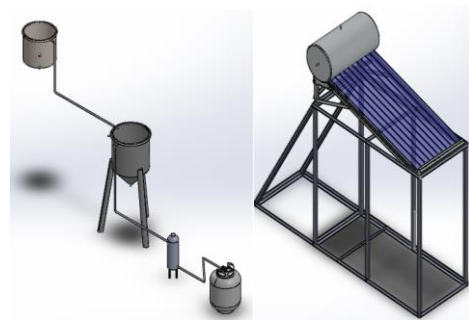


Figura 5. Estructura, calentador y biorreactor. Elaboración propia.

Para la transferencia de calor y obtener biogás, se realizó el diseño de un calentador solar para implementarlo y que proporcione agua caliente para que acelere la reacción del proceso para la obtención de biogás, de acuerdo al diseño el calentador solar, está instalado en la parte superior de la estructura, este calentador a través de un sistema de tuberías que estarán instalados en las paredes del biorreactor, se coloca un serpentín de cobre para que circule el agua

caliente alrededor del biorreactor, todo el sistema se muestra en la Figura 6 [2].

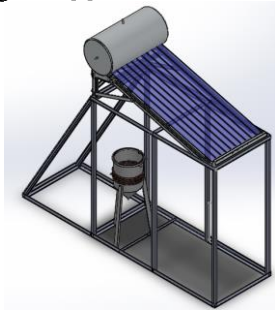


Figura 6. Ensamble del sistema. Elaboración propia.

Se define la bomba de desplazamiento positivo del sistema de recirculación, estableciendo un sistema de 120 watts, altura máxima de 9 metros, caudal de 35 litros/min, 127 volts, 0.6 MPa. De acuerdo al diseño para recircular el agua caliente devuelta a el calentador con la finalidad de diseñar un sistema de recirculación cerrado, como se muestra en la Figura 7.

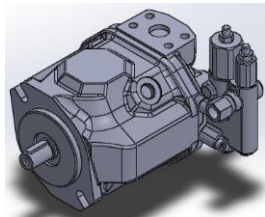


Figura 7. Diseño de bomba. Elaboración propia.

Filtro de carbón activado para biogás.

Los filtros de carbón activo se utilizan como etapa final del proceso de tratamiento de biogás, o bien, pueden ser utilizados para la remoción de contaminantes en una sola etapa cuando éstos se presentan en una baja concentración. El flujo a tratar entra por la parte inferior del filtro y se hace pasar a través de una capa de carbón activo que adsorbe los contaminantes; el tiempo de saturación del medio filtrante es determinado por el flujo de gas, concentración de contaminantes, y la capacidad del medio filtrante para adsorber el contaminante. En la Figura 8 [2], se muestra la propuesta del diseño del filtro de carbón activado y el diseño propuesto al realiza el ensamble del proceso que se va a realizar para la obtención de biogás [7].

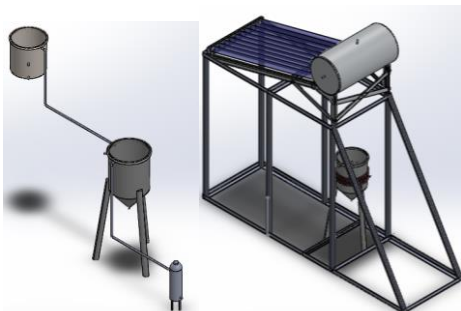


Figura 8. Ensamble del proceso con el filtro. Elaboración propia.

Un tercer contenedor es el tanque de almacenamiento para la obtención del biogás, para el uso del combustible como se muestran los diseños en la Figura 9 [2]. Finalmente se muestra la simulación del proceso en su totalidad.

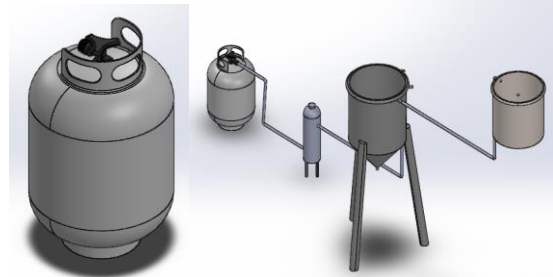


Figura 9. Ensamble del proceso de obtención de biogás. Elaboración propia.

III. RESULTADOS.

Monitoreo de parámetros.

Al definir el modelado y la simulación del birreactor y todos sus componentes, se determina un sistema de monitoreo de parámetros, se analiza la fermentación continua con $G_{\mu}=4.5$ y $D=5$, el diagrama de bloques del sistema de monitoreo se muestra en la Figura 10, en Simulink de Matlab para conocer la respuesta del proceso [8].

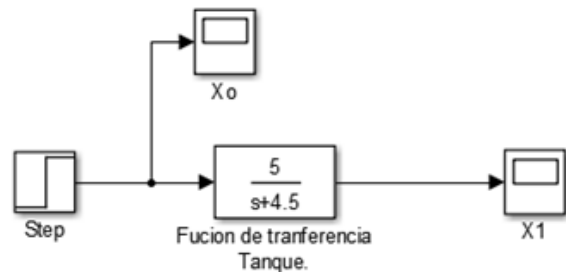


Figura 10. Diagrama de bloques en Simulink de Matlab. Elaboración propia.

La Figura 11 muestra la concentración de la mezcla en la salida del tanque en función del tiempo luego de la simulación, en ésta se observa que después de transcurrido un tiempo se estabiliza el sistema.

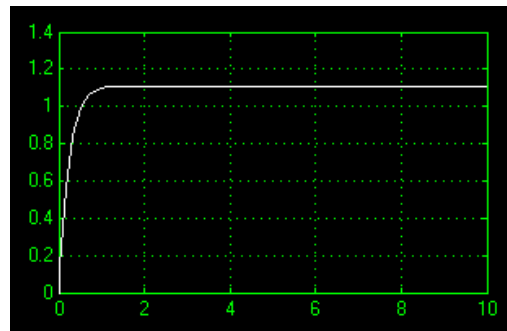


Figura 11. Respuesta de diagrama de bloque en Simulink. Elaboración propia.

Donde la respuesta tipo escalón simula la concentración del fluido en el tanque y su estabilización, en la función de transferencia se sustituyen los valores de D y μ_G , con las pantallas observamos X_0 y X_1 , que son la entrada y la salida del sistema.

Simulación de Esfuerzos y Deformaciones.

Se realizó el mallado del biorreactor para comenzar el análisis de esfuerzos y deformaciones, al realizar el sistema se aplica una presión de 4.342Mpa , una fuerza de 5.790N y un momento de 1.737Nm como se muestra en la Figura 12 [9-10].

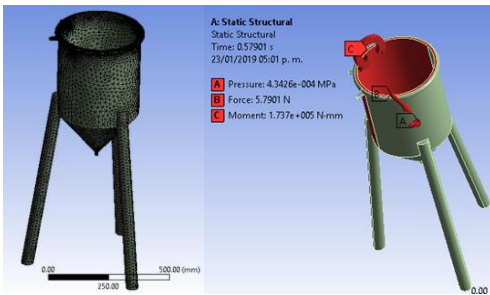


Figura 12. Biorreactor y aplicación de presión, fuerza y momento, mallado. Elaboración propia.

Al realizar las simulaciones se obtuvo una deformación de 4.58×10^8 donde no presenta problemas el equipo, además de un esfuerzo de 2.08MPa , que está en condiciones de funcionamiento, como se observa en la Figura 13 [9-10].

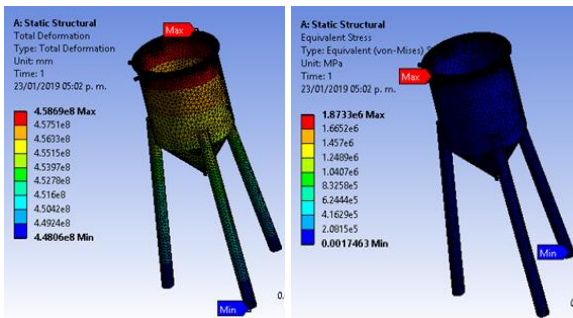


Figura 13. Esfuerzos y deformaciones del sistema. Elaboración propia.

En la Figura 13, en el lado izquierdo se muestra que en la parte superior del biorreactor existe la mayor deformación, además se muestra que la deformación plástica equivalente no presenta problemas de diseño al analizar los componentes de las deformaciones en el punto máximo, en la parte derecha los esfuerzos que se presentan en el sistema, donde prácticamente no se tienen problemas de esfuerzo, el valor límite de este esfuerzo equivalente es en el punto mínimo del biorreactor.

Desarrollo del prototipo.

Con el modelado, la simulación, el análisis y el diseño obtenido, el siguiente paso es la construcción de cada componente del sistema de generación de biogás,

primeramente, el tanque de premezclado y el biorreactor, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Biorreactor y depósito de premezclado.

Con estos elementos, se continuo con la construcción de la estructura, para colocar el sistema auxiliar de generación y el sistema de producción de biogás, como se muestra en la Figura 15, además del calentador solar que se implementa para tener un sistema termosolar.



Figura 15. Estructura, sistema auxiliar de generación, sistema de producción de biogás y sistema termosolar.

IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo la simulación y modelado del sistema de generación de biogás, utilizando los desechos generados en el Tecnológico de Estudios Superior de Tianguistenco, y poder aprovechar lo que sería la basura orgánica, beneficiando la carrera de gastronomía ya que se pretende reducir el consumo de gas LP.

Con la ayuda de algunas herramientas como lo son los programas computacionales y fundamentos matemáticos se logró llegar a la elaboración y construcción del prototipo, el análisis permite establecer el diseño y construcción del biorreactor, obteniéndose los resultados en el prototipo, las simulaciones representan la operación, el funcionamiento y el monitoreo del sistema.

Se recomienda realizar las pruebas de funcionamiento con diferentes mezclas de materia orgánica para analizar el funcionamiento de todo el sistema, tanto del sistema auxiliar como del sistema de generación de biogás.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco el apoyo para el desarrollo del prototipo de biorreactor para la generación de biogás.

VI. REFERENCIAS

- [1] Guillermo R, L (2017) Manejo de desechos en universidades. Estudio de caso, file:///C:/Users/cliente/Downloads/Dialnet-ManejoDeDesechoEnUniversidadesEstudioDeCaso-4835778%20(1).pdf
- [2] Msc. Joseph Stanli Logan Paladines, (2010), Capitulo 1 Introducción a Solidworks.
- [3] Aros, N., Cifuentes, M., & Mardones, J. (2011). Modelación, simulación y control de proceso de fermentación. https://laboratoriomicroaplicada.files.wordpress.com/2008/11/alimentos_fermentados.pdf.
- [4] Hernández, A. F., Montiel, M. F., Reyes, J. R., & Zaragoza, C. A. (2013). Diseño y modelado de un biorreactor tipo batch y continuo para aplicaciones de control automático. Congreso Nacional de Control Automático.
- [5] Álvarez, G. A. (2013). Control de Temperatura y pH Aplicado en Biodigestor Modulares de Estructura Flexible con Reciclado de Lodos a Pequeña Escala. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- [6] Yanus Cengel Afshin j. Ghajar, Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones cuarta edición mecanismos de transferencia de calor, conducción pág.17- 22.
- [7] Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. Appl Microbiol Biotechnol.
- [8] Fernando Reyes Cortes, (2012), *Matlab, Aplicado a la Robótica y Mecatrónica*, Editorial Alfa Omega.
- [9]. Ansys, Inc. *Manual ANSYS 18.2*, 2017.
- [10]. Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT USER'S GUIDE*, Release 13.0, November 2010.

VII. BIOGRAFÍA



Alejandro Linares Enríquez. Nacido en la Ciudad de México, el 10 de Julio de 1973, Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX en 1999, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec en 2015.

Trabajo de 1997 a 2003 en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. CONAE. en la empresa Soluciones y Aplicaciones en Energía en Ingeniería SA de CV de 2004 a 2015, como Jefe de Proyectos y Capacitación, Docente de Asignatura en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco de 2003 a 2015, a partir de 2015 es profesor-investigador de tiempo completo del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, cuenta con investigaciones, publicaciones en revistas y capítulos de libro en las líneas de investigación de "Automatización y Control" y "Análisis, Diseño, Modelado y Simulación de Sistemas". ORCID - 0000-0002-2250-0730.



López García Rogelio. Nacido en Toluca de Lerdo el 17 de septiembre de 1993, Estado de México, Técnico en mantenimiento de equipo de cómputo, Plantel Conalep Lerma, Ciudad de Lerma, Estado de México, 2009-2012.

Egresado para la obtención de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México en 2018.

Sistema De Detección De Fuego y Monitorización De Temperatura Usando IoT

J.I. Vega-Luna¹, G. Salgado-Guzmán¹, M.A. Lagos-Acosta¹, J.F. Cosme-Aceves¹, F.J. Sánchez-Rangel¹

Resumen—Se presenta un sistema de alerta de fuego y umbral de temperatura usando IoT. El objetivo fue activar un altavoz y transmitir un SMS y un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil al detectar fuego y/o la temperatura en un centro de datos alcance el nivel de umbral. La metodología usada para construir el sistema fue usar un detector de fuego, un sensor de temperatura, una tarjeta de desarrollo Pyboard y un módulo WiFi. El microcontrolador de la Pyboard ejecuta un programa realizado en MicroPython para transmitir periódicamente a la plataforma de IoT ThinkSpeak el valor de temperatura y estado del sensor de fuego. Cuando se activa el sensor de fuego y/o el valor de temperatura alcanza el valor de umbral configurado, ThinkSpeak solicita a la plataforma de comunicaciones Twilio el envío de los mensajes de alerta. La comunicación de la tarjeta Pyboard a la Internet se realizó usando un punto de acceso WiFi ubicado en el centro de datos. El alcance logrado en la comunicación entre el sistema construido y el punto de acceso fueron 52 metros.

Palabras claves—MicroPython, Pyboard, ThinkSpeak, Twilio, WiFi.

Abstract—This paper presents a fire warning system and temperature threshold using IoT. The goal was to activate a loudspeaker and transmit an SMS and WhatsApp message to a mobile phone when it detects fire and/or the temperature in a data center reaches the threshold level. The methodology used to build the system was to use a fire detector, a temperature sensor, a Pyboard development card and a WiFi module. The microcontroller of the Pyboard runs a program made in MicroPython to periodically transmit the temperature and state of the fire sensor to the IoT ThinkSpeak platform. When the fire sensor is activated and/or the temperature value reaches the configured threshold value, ThinkSpeak requests the Twilio communications platform to send the alert messages. The communication of the Pyboard card to the Internet was made using a WiFi access point located in the data center. The reach achieved in the communication between the built system and the access point was 52 meters.

Keywords—MicroPython, Pyboard, ThinkSpeak, Twilio, WiFi.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, casi en cualquier lugar se encuentran instalados sensores electrónicos para monitorizar alguna variable. Los sensores electrónicos se utilizan en hogares, oficinas, industrias, laboratorios, teléfonos móviles, automóviles, infraestructura de ciudades y centros de datos. Se emplean para detectar y obtener información de una variedad de procesos y dispositivos, midiendo temperatura, humedad y presión, entre otras variables. La información obtenida por los sensores es transmitida como un valor numérico o una señal eléctrica a un dispositivo central de monitorización. El dispositivo central puede estar ubicado en la Internet, permitiendo la conexión digital de objetos de uso cotidiano a la misma, esto es, conectar el mundo físico con el digital por medio de computadoras y plataformas web en la nube que procesan y almacenan la información transmitida por sensores.

Esta conexión digital de objetos cotidianos con la Internet es lo que forma el concepto de Internet de las Cosas (IoT). La IoT es una infraestructura de red inteligente que permite realizar la monitorización de variables y automatización de procesos de forma eficiente y segura. Con IoT se conecta una gran cantidad de dispositivos embebidos, o cosas, a la Internet, los cuales se comunican con personas y otras cosas proporcionando datos de sensores que se almacenan, procesan y analizan en la nube [1].

Los recientes avances tecnológicos en electrónica, sistemas digitales y comunicaciones han impulsado el desarrollo de la IoT. Con estos avances, hoy se tienen disponibles sensores más pequeños y eficientes, tarjetas digitales con microcontroladores e interfaces de conexión inalámbrica a la Internet y sistemas operativos que pueden ejecutar programas en lenguajes como Python. Este desarrollo ha sido fortalecido con la disponibilidad de proveedores de servicios de almacenamiento y análisis de información en la nube que hasta hace unos pocos años no existían. Estos servicios permiten recibir información de sensores, almacenarla y procesarla para realizar una acción sobre un proceso remotamente. Adicionalmente, pueden transmitir mensajes de voz, texto, video o de WhatsApp a un teléfono móvil [2].

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales, Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

* vlji@azc.uam.mx.

El trabajo aquí presentado se realizó para un centro de datos. El objetivo fue contar con sistema que active un altavoz y transmita un SMS y un mensaje de WhatsApp al teléfono móvil del administrador cuando se detecte fuego o la temperatura del centro de datos alcance un valor de umbral. Se solicitó que el sistema digital almacene en un servidor ubicado en la Internet el valor de temperatura leído cada 30 segundos y que esta información esté disponible a las entidades que auditan la operación del centro de datos. El centro de datos cuenta con un punto de acceso WiFi a la Internet localizado a 30 metros del punto más lejano del mismo.

En la actualidad, continúan realizándose numerosos trabajos e investigaciones para monitorización y control de variables como temperatura, humedad y presión. Estos trabajos surgen de una necesidad específica, cumplen su objetivo y usan los últimos avances de la tecnología como redes neuronales [3], comunicación Ethernet o inalámbrica como ZigBee [4] y sensores de fibra óptica [5] o de ondas acústicas de superficie [6]. Estas aplicaciones reportan y almacenan información en una computadora ubicada localmente en el proceso bajo supervisión y no se consideran aplicaciones de IoT.

Siendo la IoT uno de los campos de rápido crecimiento, las aplicaciones de monitorización de variables han integrado capacidades remotas. Los trabajos de este tipo llevados a cabo los últimos años se han centrado en las áreas de la salud [7]-[9], monitorización de variables en hogares [10]-[11], agricultura [12], almacenamiento de agua [13], gases [14] y granos [15] y seguimiento de flotillas de vehículos en ciudades [16], entre otras. Sin embargo, estas aplicaciones de IoT reportan la información colectada a un teléfono móvil o a una computadora ubicada en la Internet cuya instalación, mantenimiento, programación y costo es parte de la implantación. No hacen uso de proveedores de servicios en la nube que hacen más eficiente la aplicación y disminuyen costos y tiempo de desarrollo.

Tomando en cuenta lo anterior, no se han realizado hasta ahora trabajos similares al aquí presentado. A través de una tarjeta Pyboard, se monitoriza la temperatura y la presencia de fuego en el centro de datos y se transmiten periódicamente los valores leídos a la plataforma ThingSpeak. Cuando se detecta fuego y/o la temperatura alcanza el valor de umbral configurado, el programa que se ejecuta en la Pyboard transmite el SMS y el mensaje de WhatsApp usando los servicios de la plataforma Twilio.

Se usó la Pyboard porque el microcontrolador de esta tarjeta puede ejecutar programas realizados en Micropython, lo cual facilitó el desarrollo de la programación al no usar un lenguaje complejo de bajo nivel, ya que existe una gran cantidad de bibliotecas de

funciones de libre uso y código abierto en la nube para realizar una variedad de tareas.

Micropython es una implantación del lenguaje de programación Python 3 e incluye un conjunto grande de bibliotecas estándares de Python. Micropython fue creado con el objetivo de ser compatible con Python y transferir fácilmente código desarrollado en una computadora a un microcontrolador o a un sistema embebido. Ha sido optimizado para ejecutarse en microcontroladores. Existen varios tipos de tarjetas de desarrollo con microcontroladores que pueden ejecutar Micropython, una de ellas es la tarjeta Pyboard.

ThingSpeak es una plataforma de servicios de análisis de información en la nube que permite coleccionar datos de sensores instalados en dispositivos inteligentes, almacenarla, visualizarla y analizarla. En ThingSpeak se puede ejecutar código de MATLAB para analizar históricamente la información recibida o generar una acción remotamente con aplicaciones web y móviles, redes sociales como Twitter, soluciones de mensajería, VoIP, servicios en la nube como Twilio y dispositivos con hardware de código abierto como Arduino, Raspberry Pi y Pyboard.

Para aplicaciones de IoT que transmiten al servidor de la nube hasta 3 millones de mensajes por año, el servicio de ThingSpeak no tiene costo. Cada mensaje puede contener hasta 8 valores de diferentes sensores o variables. Para cantidades mayores a 3 millones de mensajes, ThingSpeak ofrece diferentes tipos de licencias de acuerdo a la cantidad a transmitir.

Twilio es una plataforma de servicios basada en API (Application Programming Interface) que permite transmitir mensajes de voz, video y texto a aplicaciones web, móviles y de escritorio. El uso gratuito de Twilio permite enviar hasta 100 mensajes al mes. Para más de 100 mensajes, Twilio ofrece diferentes planes en los que el costo promedio del mensaje es 0.00025 USD.

Los beneficios y aportaciones del sistema aquí presentado son las siguientes: 1) La programación se desarrolló en Micropython, lo cual reduce el tiempo, complejidad y costo de desarrollo del sistema, 2) Se usó una tarjeta Pyboard de última tecnología y precio accesible la cual no requiere un sistema operativo y ofrece mayor cantidad de recursos que otras de su tipo como Arduino o Raspberry, 3) Se usaron plataformas de IoT en la nube de bajo costo y reciente creación que proporcionan el servicio para almacenar la información de los sensores y 4) El administrador es notificado inmediatamente de la alarma del centro de datos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología usada para el diseño del sistema consistió

en dividirlo en seis módulos y seleccionar los componentes adecuados, tomando en cuenta lo planteado en el objetivo, para implantar cada módulo. Los módulos que integran al sistema son los siguientes: el módulo de procesamiento, el sensor de temperatura, el detector de fuego, el módulo de activación del altavoz, la interfaz WiFi y la interfaz de usuario. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la arquitectura del sistema y a continuación se describe el diseño y operación de cada módulo.

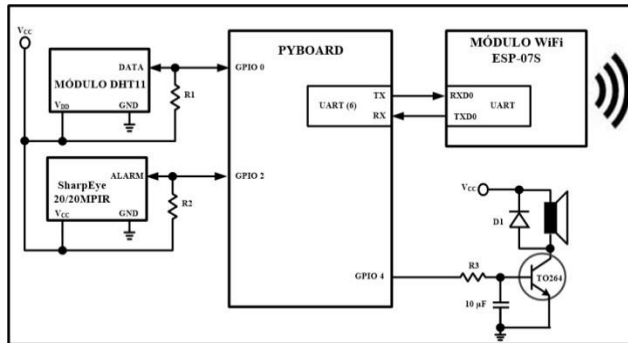


Figura 1. Arquitectura del sistema

A. El módulo de procesamiento

Este módulo está compuesto por la tarjeta Pyboard PYBV1.0. Actualmente, la tarjeta Pyboard es la más usada para ejecutar programas realizados en Mycropython. Cuenta con los siguientes recursos hardware: microcontrolador STM32F405RG con CPU Cortex M4 de 168 MHz y punto flotante, puerto USB, memoria flash ROM de 1024 KB, memoria RAM de 192 KB, ranura para tarjeta Micro SD, acelerómetro de 3 ejes (MMA7660), reloj de tiempo real, 29 terminales de entrada/salida de propósito general, 3 convertidores analógico/digital de 12 bits, 2 convertidores digital/analógico de 12 bits, 2 puertos UART, 2 puertos I²C, 4 puertos USART, programa de bootloader para actualización del firmware y se alimenta con 3.3V.

B. El sensor de temperatura

Para medir el valor de la temperatura se utilizó el módulo DHT11. Este módulo, de bajo costo y tamaño compacto, incorpora un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura ambiente. Incluye un convertidor analógico-digital, un microcontrolador y una interface 1-wire para proporcionar el valor de temperatura y humedad relativa.

El voltaje de alimentación del DHT11 es de 3.3V a 5.5V, el rango de temperatura que puede medir es 0°C a 50°C, con una precisión de ±0.5°C y una resolución de 1°C. Cuenta con 4 terminales, dos son tierra, otra es para

alimentación y la última es la línea de datos serie 1-wire mediante la cual entrega el valor digital de temperatura y humedad en una palabra de 40 bits. Esta última terminal se conectó a la terminal GPIO 0 de la tarjeta Pyboard configurada como entrada. De estos 40 bits, los primeros 16 bits corresponden al valor de humedad relativa, los siguientes 16 bits son el valor de temperatura en grados Celsius, 8 bits para la parte entera y 8 bits para la parte decimal, y los últimos 8 bits indican el checksum. La señal del bus 1-wire del DHT11 tiene alcance de 20 metros.

C. El detector de fuego

El detector de fuego utilizado es el dispositivo SharpEye 20/20MPIR. Este dispositivo es un detector de flama infrarrojo compacto, ligero, de bajo consumo de energía y para uso en interiores, que se puede configurar en uno de 4 rangos de sensibilidad. Mayor sensibilidad significa mayor alcance y mayor tiempo de respuesta como se indica en la Tabla I.

TABLA I
SENSIBILIDAD Y TIEMPO DE RESPUESTA DEL DETECTOR DE FUEGO

Rango de sensibilidad (ft/m)	33/10	65/20	100/30	140/43
Tiempo de respuesta (segs)	5	8	10	10

El campo de vista del SharpEye 20/20MPIR son 100° horizontal y 90° vertical. Su ambiente de operación es entre -40 y 70°C. Se alimenta con 12V y consume 15mA. Cuenta con una salida de relevador llamada Alarm la cual indica la presencia de fuego. Esta salida se conectó, a través de un divisor de voltaje, a la terminal GPIO 2 de la tarjeta Pyboard configurada como entrada.

En este trabajo se configuró el detector de fuego en el cuarto rango de sensibilidad para lograr el mayor alcance, 140 ft/43 m, con tiempo de respuesta de 10 segundos. Este tiempo de respuesta no impacta en la confiabilidad del sistema puesto que el detector se muestrea cada 30 segundos.

D. El módulo de activación del altavoz

El altavoz de alarma empleado es de 100w de alto rendimiento. Este altavoz se conectó a la terminal GPIO 4 de la tarjeta Pyboard configurada como entrada a través de un amplificador de corriente. Cuando el programa que ejecuta el microcontrolador determina que la salida Alarm del detector de fuego se activó y/o el valor de temperatura alcanza el umbral establecido, ejecuta una rutina que genera el tono de alerta. La rutina que produce la señal de alarma trabaja de la forma siguiente: genera una onda cuadrada con una frecuencia de 440Hz y una duración de 500ms, a continuación se detiene 500ms, posteriormente genera una onda cuadrada con una frecuencia de 520Hz durante 400ms y después de 500ms repite este proceso.

E. La interfaz WiFi

La interfaz WiFi usada es el módulo TinySine WiFi Skin for Pyboard. Este módulo trabaja en base al circuito ESP-07S, el cual pertenece a la familia ESP8266. El UART del ESP-07S se conectó a uno de los UART de la tarjeta Pyboard para llevar a cabo la comunicación.

El programa que ejecuta el microcontrolador de la tarjeta Pyboard realiza las siguientes tareas: 1) Inicializa terminales de entrada/salida, temporizadores, UART, interface WiFi y establece el valor del umbral de temperatura y número de teléfono móvil del administrador del centro de datos, 2) Entra a un ciclo en el que invoca dos funciones. La primera función se ejecuta en segundo plano e implanta la interfaz de usuario. La segunda función lee periódicamente, cada 30 segundos, en la terminal GPIO 0 el valor de temperatura entregado por el DHT11 y lee en la terminal GPIO 2 el estado del detector de fuego. A continuación, convierte de binario a decimal los 40 bits que entrega el DHT11 y ejecuta la rutina que usa la REST API de escritura para enviar a ThinkSpeak, a través de un puerto USART de la tarjeta Pyboard, el mensaje con el valor de temperatura, estado (activado/desactivado) del detector de fuego y la fecha y hora. Si se activó el detector de fuego y/o el valor de temperatura alcanzó el umbral, se ejecuta la rutina que activa la señal de alarma en el altavoz y usa la REST API de Twilio para transmitir el SMS y mensaje de WhatsApp. La temporización de eventos del bus 1-wire que implanta el programa para leer la temperatura en la terminal GPIO 0 se indica en la Figura 2.

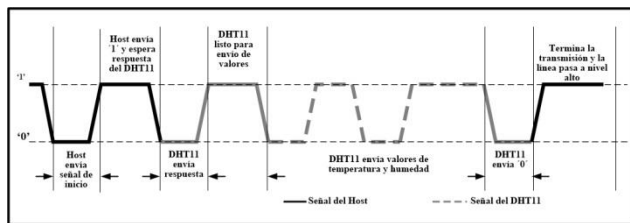


Figura 2. Temporización de señales 1-wire entre la Pyboard y el DHT11

En las aplicaciones de IoT se usan varios protocolos para el intercambio y manipulación de datos, entre los que se encuentran MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), XMPP y REST (Representational State Transfer). Los más usados son MQTT y REST y la mayoría de proveedores de servicios de Internet como Twitter, Facebook, Youtube, ThinkSpeak y Twilio tienen disponibles MQTT API y REST API para que los usuarios puedan usarlos en la creación de aplicaciones de IoT. En el desarrollo de este trabajo se usaron REST API, debido a que trabajan como interfaz entre la programación del sistema que intercambia datos con la plataforma

ThinkSpeak utilizando el protocolo HTTP. Estos datos pueden estar como texto plano o en formato XML y JSON. Las REST API tienen la ventaja, sobre otros protocolos de IoT, que son independientes del tipo de plataforma y lenguaje de programación donde se invocan. REST es el estándar lógico, eficiente y habitual en la creación y uso de API en los servicios de Internet.

ThingSpeak usa canales para el intercambio de mensajes con las aplicaciones de IoT. Se usa una REST API para crear un canal y obtener el identificador del mismo y las claves de las REST API para escritura y lectura de datos. Una vez creado el canal, se intercambian mensajes que contienen: la ruta del REST API a usar, la clave de la REST API y hasta 8 campos que pueden tener cualquier tipo de dato, como por ejemplo el valor de una variable leída desde un sensor. Los mensajes usados en este trabajo tienen 3 campos: el valor de temperatura, el estado del detector de fuego y la fecha y hora. En la Figura 3 se muestra el código en Micropython de la rutina que usa la REST API de escritura para transmitir mensajes a ThingSpeak.

```
#!/usr/bin/python
import time
import os
import sys
import urllib
import urllib2
#
# Definicion de constantes
THINGSPEAKURL = 'https://api.thingspeak.com/update'
API-KEY = 'XXXXXXXXXXXXXXXXXX'
#
# Rutina de transmision de mensaje a ThinkSpeak
#
def
sendData(url,key,field1,field2,field3,temp,detector,fecha):
    valor-campos = {'api_key' : key,'field1' : temp,'field2' :
    detector,'field3' : fecha}
    postdata = urllib.urlencode(valor-campos)
    req = urllib2.Request(url, postdata)

    # Envía mensaje a Thingspeak con REST API de
    # escritura
    resp = urllib2.urlopen(req, None, 5)
    string_html = resp.read()
    resp.close()
#
# Programa Principal
#
def main():
    global temp
    global detector
    fecha = time.strftime("%d-%m-%Y,%H:%M:%S")
    sendData(THINGSPEAKURL,API-
    KEY,'field1','field2','field3',temp,detector,fecha)
```

```
if __name__ == "__main__":
    main()
```

Figura 3. Rutina de transmisión de mensajes a Twinspeak

Twilio es un servicio en la nube que proporciona, a través de un paquete, una biblioteca de funciones que pueden invocarse en un programa en Micropython para interactuar con las REST API de Twilio para la transmisión de SMS y mensajes de WhatsApp.

F. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario está compuesta por el servidor web y la página del mismo, a través de la cual el usuario puede desplegar y descargar a un archivo de texto la información colectada por el sistema. La implantación del servidor web se basó en la biblioteca uasyncio. Esta biblioteca fue diseñada para realizar servidores web, a través de microcontroladores, usando la mínima cantidad de memoria RAM, llamados picowebs, así como para conexiones a bases de datos y colas de tareas distribuidas. A través de la página del servidor web, el usuario puede visualizar los valores, actuales e históricos, de temperatura y estado del detector de fuego. En la Figura 4 se muestra la pantalla principal de la interfaz de usuario realizada.

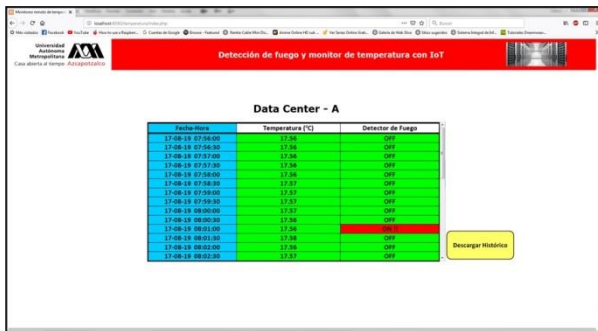


Figura 4. Pantalla principal de la interfaz de usuario

III. RESULTADOS

Se ejecutaron tres grupos de pruebas. El primer grupo tuvo como objetivo comprobar la exactitud de la temperatura medida por el sensor DHT22. Para realizar estas pruebas, se varió la temperatura del sensor artificialmente con un calentador y se midió con un termómetro analógico para compararla con la reportada en la interfaz de usuario. El fabricante indica una exactitud de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, la cual se mantuvo hasta los 60°C . Después de este valor, al aumentar la temperatura, la diferencia de temperatura entre la medida con el termómetro y la reportada por el sensor aumentó proporcionalmente como se muestra en la Figura 5.

En este grupo de pruebas no se tuvo problema en la comunicación entre el sistema y el punto de acceso WiFi,

ya que el punto donde se instaló el sistema construido se ubica a 30 metros del punto de acceso. Sin embargo, se realizó un segundo grupo de pruebas para determinar el alcance del sistema.

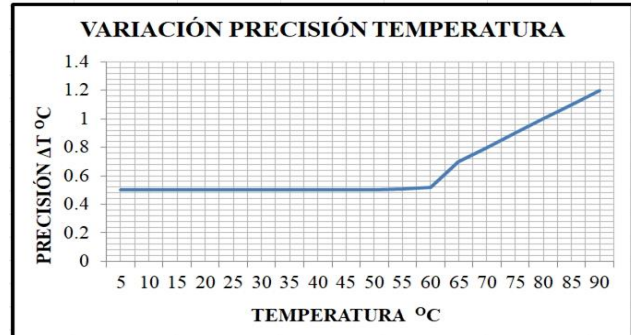


Figura 5. Precisión del sensor DHT22

Para llevar a cabo estas pruebas, se ubicó el sistema en diferentes posiciones en el centro de datos determinándose que la distancia a la cual se perdía el enlace con el punto de acceso fueron 52 metros con línea de vista.

El tercer grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar el ángulo de cobertura del detector de fuego. Para llevar a cabo estas pruebas se fijó el detector usando el mejor ángulo de inclinación y respuesta indicado por el fabricante: 45° . A continuación, se generó fuego con un cilindro de gas en distintas ubicaciones, a la izquierda y derecha del ángulo de inclinación. Los resultados mostraron que el máximo ángulo de cobertura fue 47° a la izquierda y 48° a la derecha, un poco mayor a los especificados por el fabricante.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un sistema de IoT para monitorizar remotamente presencia de fuego y temperatura, el cual reporta y almacena en una plataforma en la nube los valores de temperatura leídos y transmite SMS y mensajes de alerta a WhatsApp. El sistema realizado es fácil de instalar, usar y mantener. Es un sistema escalable al cual pueden integrarse sensores para coleccionar información de otro tipo de variables de ambiente realizando cambios mínimos en la programación del microcontrolador. El sistema puede usarse en otras instalaciones, no solo en un centro de datos como se utilizó en este trabajo. El fabricante del detector de fuego especifica que no es apto para usarse en ambientes donde exista interferencia originada por luz halógena o radiación de cuerpos negros como aquellos contruidos de carbón u hornos. Esto no impacta en la aplicación realizada en este trabajo, ya que este tipo de materiales y elementos no existen al interior de un centro de datos.

Esta aplicación se realizó usando el servicio gratuito de ThinkSpeak y Twilio los cuales permiten el envío de cierta cantidad de mensajes. Si la cantidad de mensajes a enviar es grande, deberá utilizarse una licencia de estos proveedores, lo cual incrementa un poco el costo de la aplicación.

Para aumentar el alcance de este sistema se recomienda instalar repetidores WiFi en el lugar donde se use o intercambiar la interfaz WiFi por el módulo Pycom WiPy cuyo rango de WiFi es 1Km, sin realizar cambios mayores en el hardware y programación del microcontrolador y aumentando el costo del sistema. Finalmente, existen alternativas para implantar una red de sensores conectados a la Internet y largo alcance como la tecnología LoRa. Los transceptores LoRa son de bajo costo y de varios Kilómetros, sin embargo, el costo de los puntos de acceso LoRa a la Internet es 1,000 USD.

V. REFERENCIAS

- [1] Halder, S. y Sivakumar, G. (2017). "Embedded based remote monitoring station for live streaming of temperature and humidity", in *Proceedings International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Technologies (ICECCOT)*, pp. 284-287.
- [2] Kadiyala, E., Meda, S. y Basani, R. (2017). "Global industrial process monitoring through IoT using Raspberry pi", in *Proceedings International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2)*, pp. 260-262.
- [3] Huang, X., Li, Z. y Zhu, Y. (2018). "The System of Temperature Rise Monitoring and Temperature Prediction for Power Equipment", in *Proceedings Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, pp. 1-5.
- [4] Rerktratn, A. y Kaewpoonsuk, A. (2015). "ZigBee based wireless temperature monitoring system for shrimp farm", in *Proceedings 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 428-431.
- [5] Hurezeanu, I., Nicola, C. I. y Sacerdotianu, D. (2016). "Temperature control and monitoring system for power transformer windings using fiber optic sensors", in *Proceedings International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, pp. 1-4.
- [6] Tan, H., Chen, X. y Ma, J. (2016). "A design of substation temperature online monitoring system based on SAW temperature sensor", in *Proceedings IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, pp. 1-4.
- [7] Ashish, B. (2017). "Temperature monitored IoT based smart incubator", in *Proceedings International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)*, pp. 497-501.
- [8] Sundaravadivel, P., Mohanty, S. y Kougiianos, E. (2016). "An energy efficient sensor for thyroid monitoring through the IoT", in *Proceedings 17th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems*, pp. 1-4.
- [9] Kumar, G. V., Bharadwaja, A. y Nikhil, N. (2017). "Temperature and heart beat monitoring system using IOT", in *Proceedings International Conference on Trends in Electronics and Informatics*, pp. 692-695.
- [10] Wu, F., Rüdiger, C. y Redouté, J. (2018). "WE-Safe: A wearable IoT sensor node for safety applications via LoRa", in *Proceedings IEEE 4th World Forum on Internet of Things*, pp. 144-148.
- [11] Shinde, D. y Siddiqui, S. (2018). "IOT Based Environment change Monitoring & Controlling in Greenhouse using WSN", in

Proceedings International Conference on Information, Communication, Engineering and Technology, pp. 1-5.

- [12] Nageswara, R. y Sridhar, B. (2018). "IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system", in *Proceedings 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, pp. 478-483.
- [13] Raghu, K. y Harish, G. (2017). "Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT", in *Proceedings IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 318-321.
- [14] Keshamoni, K. y Hemanth, S. (2017). "Smart Gas Level Monitoring, Booking & Gas Leakage Detector over IoT", in *Proceedings IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 330-332.
- [15] Calderon, C., Gonzaga, M. y Morales, J. (2018). "Prototype industrial IoT applied to temperature monitoring in storage silos of dairy products", in *Proceedings 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 1-6.
- [16] Wang, S., Hou, Y. y Gao, F. (2016). "A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system", in *Proceedings IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 639-642.

VI. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Salgado-Guzmán Gerardo. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras. El Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras.



Cosme-Aceves José Francisco. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

Levantamientos Topográficos con Drones

O. Del Río-Santana¹, T. Espinoza-Fraire^{*2}, A. Sáenz-Esqueda³, F. Cortés-Martínez⁴.

Resumen—En este trabajo se lleva a cabo un levantamiento topográfico con tres métodos y comparados entre sí, para conocer que metodología o equipo tecnológico muestra un mejor desempeño, el desempeño es medido de acuerdo al error obtenido en las mediciones del levantamiento topográfico. Los métodos a utilizar para el levantamiento topográfico son: con cinta métrica, estación total y Drone.

Palabras claves— cinta métrica, drone, estación total, topografía.

Abstract— In this work a topographic survey is carried out with three methods and compared to each other, to know which methodology or technological equipment shows a better performance, the performance is measured according to the error obtained in the measurements of the topographic survey. The methods to be used for the topographic survey are: with tape measure, total station and Drone.

Keywords—tape measure, drone, total station, topographic.

I. INTRODUCCIÓN

La topografía es parte fundamental en la ingeniería civil. La teoría de la topografía se basa esencialmente en la geometría plana, geometría del espacio, trigonometría y matemáticas en general [1]. Algunos autores mencionan que la topografía es "La ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta" [2].

La topografía se divide básicamente en planimetría y altimetría. La planimetría se define como la topografía dedicada al estudio de los procedimientos y los métodos que se ponen en marcha para lograr representar a escala los detalles de un terreno sobre la superficie plana. Lo que hace la planimetría es prescindir del relieve y la altitud para lograr una representación en dirección horizontal [3].

La altimetría se define como la topografía especializada en la medición de la altura. Considerando que la topografía es la disciplina que se encarga de la descripción detallada de las superficies.

También conocida como hipsometría, la altimetría abarca diferentes procesos, metodologías y técnicas para la determinación y representación de la altura de un punto, teniendo en cuenta un cierto plano de referencia. De esta

manera la altimetría posibilita la representación del relieve [4].

Cabe mencionar que en este trabajo de investigación se realizará en el plano, esto es, considerando la definición de la topografía basada en planimetría.

El concepto de Topografía no ha variado con el tiempo. Lo que sí se ha visto ampliamente modificado son las técnicas, los instrumentos de medida y los métodos a aplicar.

Este trabajo, es el avance tecnológico que abre el camino para realizar levantamientos topográficos de una forma diferente a la realizada en el pasado, en la cual se realizaban levantamientos topográficos primero en mediciones por cinta métrica, después con los avances tecnológicos apareció el teodolito y finalmente apareció la estación total. En este trabajo se presenta un levantamiento topográfico con fotogrametría con Drones, específicamente se utiliza el Drone Phantom 4 pro y el software Pix4D. Las mediciones obtenidas con la fotogrametría a partir del Drone, se compararán con los métodos tradicionales mencionados en la parte de arriba de este documento, con dicha comparación se desea conocer la precisión con la cual el Drone alcanza las medidas más cercanas a las reales del terreno a medir.

Cabe mencionar que para realizar dichos experimentos se optó por la medición de una geometría conocida, esto es, las mediciones presentadas en este trabajo son realizadas sobre un campo de fútbol ubicado dentro de las instalaciones del núcleo Universitario de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio, Durango, México.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Costo beneficio de uso de Drones en topografía

Los estudios fotogramétricos a partir de drones han representado un extraordinario apoyo, debido a que en una medida de tiempo y costos es relativamente inferior a un levantamiento topográfico, generando de esta forma, productos geoespaciales de gran precisión y contenido.

Los vehículos aéreos no tripulados, son una clara apuesta por el medio ambiente, pues no emite CO₂ a la atmósfera. Además, mejora significativamente la seguridad de los trabajadores en campo, al evitar el ingreso a zonas de riesgo [5].

Un ejemplo sencillo, es que hace años poder examinar 100

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Departamento de Investigación, Universidad s/n,

Núcleo Universitario, Filadelfia, 35070, Filadelfia, C.P. 35070, Gómez Palacio, Durango, México

* atespinoza@ujed.mx

hectáreas con la tecnología existente en el momento, podría llegar a ser un trabajo de días, incluso de semanas. Gracias a la tecnología existente, con un Drone se puede llegar a emplear alrededor de 40 minutos frente a trabajos que realizarlos con otras técnicas llevaría un tiempo estimado de 3 semanas.

B. Principales ventajas del uso de los Drones en topografía

El principal factor es la seguridad, el topógrafo no necesita transportar la estación a lugares potencialmente peligrosos, con lo que los riesgos de la existente en esta profesión se minimizan.

Permite obtener una mayor base de conocimiento del lugar y sus alrededores, ya que se llega a espacios inaccesibles para una persona como acantilados, claros rodeados de árboles etc.

Captura un mayor número de puntos para crear las planimetrías. El levantamiento topográfico de un dron, debido a sus cámaras de última generación aporta mucha más información gráfica que un levantamiento tradicional. Por otra parte, la información es mucho más completa en cuanto a color de las fotografías, lo que consigue una mayor resolución y realismo del terreno.

Reducción de costes, un estudio topográfico que hace años podía suponer importantes costes a una empresa, gracias a esta tecnología se han reducido hasta en un 70% [6].

C. Fotogrametría

La fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es el determinar las dimensiones y posición de objetos en el espacio a partir de imágenes fotográficas, esto se consigue a través de la medida o medidas realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías, por medio de la fotogrametría podemos obtener modelos digitales de terreno que pueden ser utilizados para el diseño de vías, por ejemplo, en la Figura 2 se observa la manera en que se van tomando las fotografías [7].



Figura 1. Phantom 4 Pro.

D. Vuelo fotogramétrico

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el sobrevolar la zona a una altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias paralelas entre sí, mediante su control de deriva [8].

Dentro de una pasada, la cámara tomará exposiciones de tal modo que las fotografías cuenten con un traslape considerable para poder realizar la reconstrucción del terreno a medir, esto es, se tendrá un recubrimiento longitudinal prefijado entre fotogramas adyacentes entre dos pasadas o vuelos consecutivos, generalmente voladas en sentido inverso, existirá otro solape o recubrimiento transversal, previamente fijado, ver la Figura 2.



Figura 2. Levantamiento fotogramétrico.

E. Software

El software con el cuál se llevó a cabo el orto mosaico para el levantamiento topográfico es el Pix4D. Cabe mencionar que este mismo software tiene en su mismo programa un paquete llamado Pix4Dmapper Mesh, el cual nos permite crear modelos en el plano y en 3D con imágenes obtenidas desde un Drone o con otro vehículo aéreo no tripulado. Además, otras características de este software es que nos permite exportar videos, y modelos de malla con textura. También se puede generar productos como los videos de los recorridos por la nube de puntos densa y el orto mosaico, que sirven en gran medida como suplementos para presentar proyectos de una forma más didáctica [9].

III. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados experimentales del levantamiento topográfico del campo de fútbol del núcleo Universitario de la UJED en Gómez Palacio, Durango.

Los resultados experimentales mostrados en este trabajo se realizaron mediante tres metodologías, la primera se llevó de la manera más tradicional o como se realizó a los inicios de la topografía, esto es, con cinta métrica, en la Figura 3 se presentan los resultados experimentales obtenidos con dicho método o procedimiento.

El otro levantamiento topográfico del mismo campo de fútbol se llevó a cabo utilizando la tecnología de la estación

total, los resultados experimentales obtenidos con dicha tecnología se muestran en la Figura 4. Finalmente, los resultados obtenidos con la tecnología basada en los vehículos aéreos no tripulados conocido como Drone, se muestran en la Figura 5.



Figura 3. Levantamiento topográfico con cinta.



Figura 4. Levantamiento topográfico con estación total.



Figura 5. Levantamiento topográfico con Drone.

TABLA I
 ERROR DE MEDICIÓN EN EXPERIMENTOS [METROS]

Lado del campo	Cinta	Estación Total	Drone
(b)	0.35	0.85	0.17
(b')	0.90	0.95	0.23
(a)	0.75	0.26	0.44
(a')	0.18	0.16	0.15

Para poder realizar el análisis, se consideró las medidas con las que se solicitó la construcción o el trazado del campo de fútbol de la Universidad, estas medidas son un largo de 99 metros con un ancho de 64 metros. En la Tabla I, se muestran los errores de medición considerando como referencia real los valores mencionados anteriormente (99 m x 64 m).

Basados en los resultados obtenidos en la Tabla I, se puede apreciar que del lado (b) del campo de fútbol las medidas llevadas a cabo con la estación total presentar un error mayor de medición, para este lado (b) la medición con menor error es la llevada a cabo con el Drone.

Las mediciones llevadas a cabo sobre el lado marcado como (b'), se aprecia que al igual que el lado (b) la estación total muestra el error de medición mayor que las mediciones tomadas con cinta y con el Drone, de la misma forma que en (b) la medición sobre (b') se obtuvo un error de medición menor con el Drone, ver la Tabla I.

Para el lado (a) se presenta un error mayor de medición con cinta que con el Drone y la estación total, siendo esta última la que presenta menor error de medición para el lado (a), ver la Tabla I.

Finalmente, la medición llevada con los tres métodos (Cinta, estación total y Drone) sobre el lado (a), se obtuvo una medición de error menor con el Drone, y un error de medición mayor con cinta. En la Figura 6 se presenta el campo reconstruido con 103 imágenes o fotografías tomadas con el Drone a una altura de 50 m con un traslape entre fotografía del 80%.

En la misma Figura 6 se aprecian los puntos de ayuda o puntos de referencia sobre el campo para realizar las mediciones deseadas, de la misma forma se aprecian los puntos de fotografía.

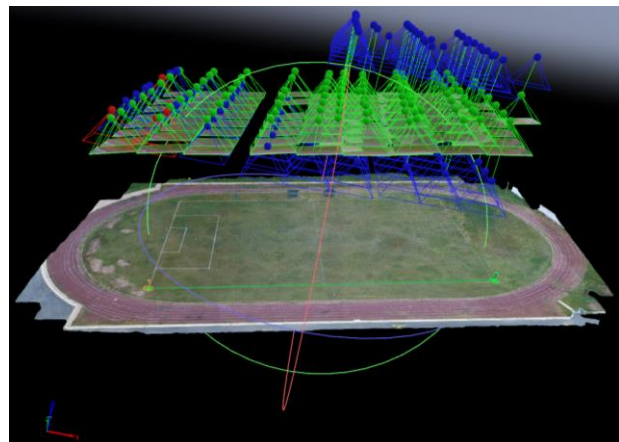


Figura 6. Orto mosaico del campo de fútbol con 103 imágenes.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se llevo a cabo la comparación de tres métodos para realizar un levantamiento topográfico, los métodos utilizados fueron con cinta, estación total y Drone. Se aprecio que con el método tradicional por cinta se lleva mucho tiempo y además es necesario la ayuda de al menos dos personas para realizar el levantamiento por cinta.

Realizar el levantamiento con estación total con lleva a tener la tecnología de dicha tecnología la cual debe de ser calibrada cada cierto tiempo y para el levantamiento con estación total es necesario al menos dos personas para llevarlo a cabo.

El levantamiento con el Drone tiene muchas ventajas con respecto al tiempo en que se lleva a cabo un levantamiento, otra ventaja es que es necesario sólo una persona para manipular y programar el Drone para el levantamiento topográfico, la desventaja de la tecnología con Drone es que es necesario de inicio una gran inversión económica para adquirir un Drone y un software que sea capaz de llevar a cabo las tareas que se asignan, que en este caso son de topografía.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo para la realización de este trabajo de investigación a la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FICA-UJED).

VI. APÉNDICES

A continuación, se enlistan las partes fundamentales con las que cuenta el Drone Phantom 4 pro de la compañía DJI.

1. GPS
2. Hélices
3. Motores
4. Indicadores LED delanteros
5. Estabilizador y cámara
6. Sistema de visión frontal
7. Batería de Vuelo Inteligente
8. Indicador de estado de la aeronave
9. Sistema de visión trasera
10. Sistema de detección por infrarrojos
11. Botón de vinculación e indicador de estado de vinculación/cámara
12. Puerto Micro USB
13. Ranura para tarjeta MicroSD de la cámara
14. Sistema de visión inferior

A continuación, se describen las partes fundamentales del radio control del Drone utilizado.

1. Antenas

2. Pantalla de visualización
3. Palanca de control
4. Botón de regreso al punto de origen (RTH)
5. LED de nivel de batería
6. LED de estado
7. Botón de encendido
8. LED de RTH
9. Altavoz de Salida de audio
10. Dial de configuración de la cámara
11. Botón de pausa durante vuelo inteligente
12. Botón del obturador
13. Botón de suspensión/reactivación
14. Micrófono
15. Conmutador de modo de vuelo
16. Botón de Grabación de video
17. Dial del estabilizador
18. Puerto Micro USB
19. Ranura para Tarjeta MicroSD
20. Puerto HDMI
21. Puerto USB
22. Botón C1
23. Botón C2
24. Puerto de alimentación

VII. REFERENCIAS

- [1] Montes de Oca, (1989). *Topografía*, Ed. Alfa omega, México
- [2] Buckner R., (1983). *Surveying Measurements and Their Analysis*, first edition. Ed. Reviews, New York, USA
- [3] Pérez J., Gardey A., (2011). *Definición de planimetría*. Obtenido de <https://definicion.de/planimetria/>
- [4] Pérez J., Merino M., (2015). *Definición de altimetría*. Obtenido de <https://definicion.de/altimetria/>
- [5] Corredor J. (2015). *Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico para una vía en rehabilitación del sector Tuluá Río frío, Reporte de proyecto*, Colombia
- [6] Vilches A., (2017). *Drones para la topografía, ventajas importantes para el sector*. Obtenido de <https://www.pilotando.es/drones-para-topografia/>
- [7] Sánchez S. (2006). *Introducción a la fotogrametría*. Curso inductivo Universidad Politécnica de Madrid, España
- [8] Osorio J. (2018). *El vuelo fotogramétrico*. Nota técnica Academia, USA
- [9] Terrasat. (2019). *Terrasat tecnología geoespacial*. Obtenido de <https://www.terrasat.com.mx/category/pix4d-mexico/>

VIII. BIOGRAFÍA



Omar del Río Santana. Nació el 29 de noviembre de 1975 en la cd, de Gómez palacio Durango, México. Obtuvo el grado de ingeniero civil en la Universidad Juárez del Estado de Durango, en la ciudad de Gómez Palacio Durango, México en agosto del 2017. Actualmente cursa el 5to tetramestre de maestría en ingeniería civil con especialidad en planeación y construcción en la Facultad de Ingeniería

Ciencias y Arquitectura de la UJED. Integrante del cuerpo docente de ésta facultad, siendo miembro del personal del área de laboratorio de materiales de la facultad desde hace 5 años, en los cuales tiene en su haber trabajos realizados tanto para el municipio de Gómez Palacio y cd Lerdo Durango, México como en la industria privada, por nombrar algunos; supervisión y control de calidad de los materiales de la construcción del cuartel militar de San Pedro de las Colonias Coahuila, México supervisión y control de calidad de los materiales de una planta fotovoltaica localizada en el ejido Jauja Durango, México, control de calidad en minera Indé , en minera Velardeña y para el municipio obras de pavimentación y de líneas de conducción de agua y drenaje.



Arturo Tadeo Espinoza Fraire. Nació el 19 de abril de 1983 en Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de Ingeniería en Electrónica en la especialidad de Control Automático e Instrumentación en 2008 en el Instituto Superior de Lerdo, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Mecatrónica y Control en el Instituto

Tecnológico de la Laguna en 2011 y 2015 respectivamente.

Trabajó en la empresa Ingeniería Mexicana de Sistemas del 2007 al 2008, realizó estancias de investigación en el laboratorio Franco-Mexicano en el CINVESTAV Zacatenco en el 2010 y una estancia de investigación en la Université de Technologie de Compègne en el 2011 en Francia. Desde el 2017 labora como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio Durango, México.

El Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire es parte del comité técnico internacional del International Conference on Unmanned Aircraft Systems y nivel C del sistema nacional de investigadores (SNI). Sus áreas de interés son: vehículos aéreos no tripulados, control lineal y no lineal, sistemas embebidos y aplicaciones con vehículos aéreos no tripulados.



Sáenz Esqueda José Armando. Nació en Gómez Palacio, Durango el 15 de julio de 1988. El historial académico es el siguiente: Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2010. Doctorado y Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica y Control, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2018 y 2013, respectivamente. Él actualmente

es profesor investigador de la Facultad en Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, sus temas de interés son: Control no Lineal, Robótica Móvil, Visión Artificial. M.C. Sáenz miembro de la Asociación Mexicana de Robótica.



Facundo Martínez Cortés. Lugar y fecha de nacimiento: Ejido San Felipe, Dgo. 22 de octubre de 1958. Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Juárez en el estado de Durango, México. Campus Gómez Palacio, en el año de 1983. La maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil con Especialidad y Construcción de Obras en el año 2000 en la Facultad de Ingeniería,

Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez palacio, estado de Durango, México. Doctorado en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez Palacio, estado de Durango, México en el año 2007.

Es profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UJED Campus Gómez Palacio en el estado de Durango desde el año 2000. Imparte cátedra en las unidades de aprendizaje: Alcantarillado sanitario, Abastecimiento de agua, Obras hidráulicas, Tratamiento de Aguas Residuales y Potabilización. Línea de investigación: Modelización matemática y desarrollo tecnológico.

El Dr. Cortés cuenta con el perfil del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación pública hasta el año 2019. Cuenta con la acreditación como miembro del registro CONACyT como evaluador de programas de estímulos a la innovación científica desde el año 2013. Reconocimiento al Mérito docente 2016 por la Comunidad de Instituciones de Educación Superior de la Laguna (CIESLAG) Reconocimiento preseña "Ancla" 2000 como ciudadano distinguido por la presidencia municipal de Gómez Palacio, Dgo. México.

Análisis de la red logística de un cruceo vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo

L.Fuentes-Rosas¹, A.G. López-Cabrera¹, L.G. Tobón-Galicia¹, C.G. Moras-Sánchez².

Resumen—Se realizó un estudio de simulación en SIMIO para evaluar la viabilidad de colocar un semáforo en un cruceo de la Ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, México. Dicho cruceo presenta la problemática de congestionarse fuertemente en determinadas horas del día causando serias implicaciones a la seguridad vial tanto de los conductores como de peatones. Se siguió la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2014) y con un 95% de confianza se obtuvo un modelo representativo del sistema real. Las medidas de desempeño fueron evaluadas bajo los criterios de Cal y Mayor y Cárdenas (2007) para la implementación de un semáforo logrando el cumplimiento por arriba del 80% de cada una de ellas, sustentando la colocación del semáforo como alternativa viable para contrarrestar la problemática del cruceo.

Palabras claves—Logística, SIMIO, Simulación, vialidad.

Abstract—A SIMIO simulation study was conducted to evaluate the feasibility of placing a traffic light on a roader cruise in the City of Tierra Blanca, Veracruz, Mexico. This cruise presents the problem of being heavily congested at certain times of the day causing serious implications for road safety for both drivers and pedestrians. The simulation methodology proposed by Law and Kelton (2014) was followed and with 95% confidence a representative model of the system was obtained. Performance measures were evaluated under the criteria of Cal and Mayor and Cardenas (2007) for the implementation of a traffic light achieving compliance of over 80% of each of them, supporting the placement of the traffic light as a viable alternative to counteract the problem of the cruise.

Keywords—Logistics, road, SIMIO, simulation.

I. INTRODUCCIÓN.

El transporte, tan necesario en la vida del hombre actual, puede generar diversos impactos ambientales adversos, tales como congestión vehicular, invasión de la tranquilidad en ciertas áreas, además de incrementar el riesgo de accidentes viales.

El flujo vehicular [1] producido en un momento y lugares determinados es el resultado de una serie de decisiones

individuales de los usuarios de la red logística vial. Cada usuario decide cómo y cuándo recorrer lo que considera la mejor ruta para llegar a su destino. La congestión de tránsito ha ganado terreno en todo el mundo y el pronóstico es que seguirá agravándose, constituyendo un peligro para la calidad de vida urbana. El fenómeno se traduce en el incremento de tiempo de viajes, el aumento en el consumo de combustible, costo por contaminación entre otros, en comparación con el flujo vehicular libre.

El elevado volumen de vehículos que circula por las ciudades hace imprescindible que en éstas existan sistemas de gestión semafórica que intenten que la circulación sea lo mejor posible [2].

Con el objetivo de ofrecer alternativas favorables a la seguridad vial, varios estudios se han realizado y han tenido como técnica base a la simulación. En la ciudad de Orizaba, Veracruz, México, se evaluó la eficiencia del programa de cruces uno por uno versus semáforos, resultando que a partir de 330 vehículos por hora, resulta más eficiente el programa de semáforos [3].

En [4] se analizó el control de tráfico vehicular y presentaron estrategias de gestión semafórica; concluyendo que la utilización de semáforos inteligentes descongestiona la circulación vehicular.

La simulación utilizando SIMIO permitió conocer medidas de desempeño de un sistema vial para justificar la instalación de un semáforo en un cruceo cuya característica era la recurrencia de accidentes [5].

Se evaluó el tráfico vehicular en un redondel de una ciudad de Ecuador, con el objetivo de mejorar la circulación y disminuir los conflictos. Los resultados del estudio apuntaron a la implementación de un enlace vehicular y semaforizar sectores internos para un flujo más regulado [6].

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Un estudio de simulación supone un procedimiento apegado al rigor científico. La metodología de simulación

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería Industrial, Prol. De Avenida Veracruz s/n Esq. Héroes de Puebla, Colonia Pemex, C.P. 95180, Tierra Blanca, Veracruz, México.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería Industrial, Oriente 9, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México. * Liliana.fuentes@itstb.edu.mx.

consta de 10 pasos a seguir [7], tal como se muestra en la Figura 1.

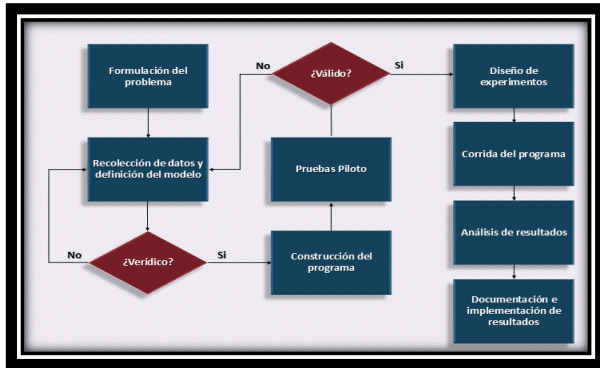


Figura 1. Metodología de Simulación (Adaptado de Law, 2014)

A. *Formulación del problema*

El sistema bajo análisis se integra por la intersección de dos arterias viales (Calle Lerdo de Tejada y Av. Independencia), la Figura 2 ilustra los sentidos viales del cruceo.

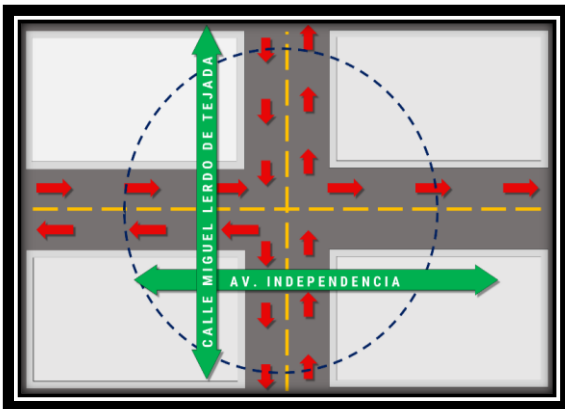


Figura 2. Sistema bajo estudio, cruceo en Tierra Blanca, Ver.

La gran cantidad de vehículos que transita el cruceo, la falta de dispositivos reguladores de tráfico y la incipiente cultura vial, propician que dicho cruceo sea un desafío constante a la seguridad. El objetivo del estudio de simulación consistió en modelar el sistema tal cual opera y posteriormente evaluar la viabilidad de colocación de un semáforo, avalado por los principios de la Ingeniería de Tránsito.

B. *Recolección de datos y definición del problema*

Las variables de entrada en la red logística del cruceo son: a) Tiempos entre llegadas (arribos) de vehículos al cruceo. En este caso se identificaron tres: tiempo de arribo por Lerdo dirección norte, tiempo de arribo por Lerdo dirección sur, tiempo de arribo por Independencia; b)

Destino del vehículo; c) Tiempo de estacionamiento (en caso de que lo haga); d) Número de peatones por hora en el cruceo.

Para cada una de las variables se diseñó un instrumento de recolección y se tomaron datos durante tres meses en horarios variados durante el día. Las bases de datos de cada variable fueron tratadas estadísticamente a fin de conocer su comportamiento (posible ajuste a alguna distribución), para tal análisis se utilizó el paquete estadístico *Stat::Fit@*, Ver Figura 3.

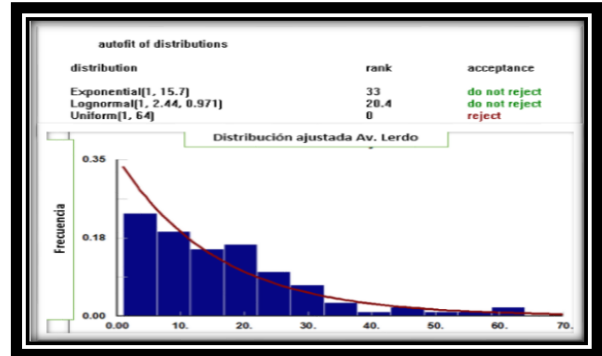


Figura 3. Histograma de la distribución de la variable tiempo entre llegadas por Calle Lerdo-Sur

Las pruebas que comprendió el tratamiento estadístico fueron Chi-cuadrada, Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling. Del tratamiento se obtuvo que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas.

La red logística que implica el cruceo se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 4.

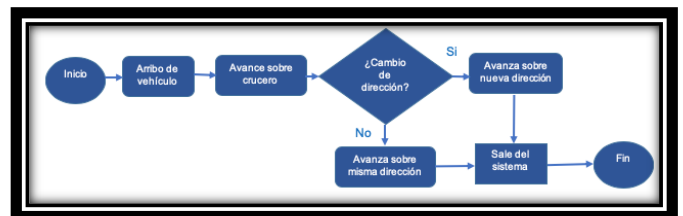


Figura 4. Diagrama de flujo del cruceo bajo estudio

C. *Verificación del modelo*

El diagrama de flujo fue presentado y explicado al Director de Tránsito y Vialidad de la ciudad, quien avaló el proceso, sosteniendo la congruencia del modelo con el sistema real.

D. *Construcción del programa*

Una vez verificado el modelo el siguiente paso fue la traducción de éste a lenguaje de programación de SIMIO, la Tabla 1 refiere los elementos principales que fueron necesarios programar para la obtención del modelo de simulación (MS).

TABLA I
ELEMENTOS PRINCIPALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MS

Elemento del sistema	Elemento en SIMIO®
Llegadas por arterias viales	Sources
Areas de estacionamiento	Servers
Direcciones viales	Paths
Vehículos y peatones	Models Entities
Cambio de direcciones	Transfers Nodes
Salidas del sistema	Sink

SIMIO® ofrece la ventaja de un ambiente windows, además de una animación 3D muy atractiva. La figura 5 muestra una vista del modelo de simulación.



Figura 5 Vista 3D del MS en SIMIO®

E. Pruebas piloto

Se realizaron pruebas piloto al MS para garantizar la programación correcta de cada elemento y, principalmente, para tener información para el siguiente paso.

F. Validación del modelo

La validación del modelo es un procedimiento matemático cuya importancia radica en asegurar que los datos que arroja el MS son estadísticamente iguales a los del sistema real, dotando así de un modelo capaz de emular al sistema real y ser una herramienta eficaz en la toma de decisiones. Para la validación se utiliza la prueba t-pareada, mediante la que se prueba la hipótesis nula de que no hay diferencia entre los datos del MS y los del sistema real. Todas las variables deben ser sometidas a validación. El procedimiento de la validación de una de ellas se muestra en la Tabla 2, donde:

X_i = tiempo promedio de arribos en segundos por calle Lerdo del sistema real.

Y_j = tiempo promedio de arribos en segundos por calle Lerdo del modelo de simulación.

TABLA II
DATOS APAREADOS DE LA VARIABLE TIEMPO DE ARRIBOS EN SEGUNDOS POR CALLE LERDO

Corridas	DATOS		$Z_j = X_i - Y_j$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
	Reales	Simulados		
1	14	22	-8	146.41
2	12	7	5	0.81
3	26	4	22	320.41
4	12	10	2	4.41
5	4	7	-3	50.41
6	2	5	-3	50.41
7	1	13	-12	259.21
8	14	8	6	3.61
9	36	14	22	320.41
10	12	2	10	34.81
TOTAL				1190.9
PROMEDIO			4.1	

Con los datos de la Tabla II se construyó un intervalo de confianza al 95% para Z en donde $Z_j = X_i - Y_j$, como se muestra en (1), (2), (3) y (4).

$$\hat{V}ar[\bar{Z}_{10}] = \frac{\sum_{i=1}^{10} [z_j - \bar{z}_{10}]^2}{n(n-1)} \quad (1)$$

$$\bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}ar(\bar{Z}_n)} \quad (2)$$

$$4.1 \pm 2.2622 \sqrt{13.2322} \quad (3)$$

$$(-4.129, +12.329) \quad (4)$$

Dado que el intervalo resultante incluye al cero no es posible el rechazo de la hipótesis nula, por lo que se concluye que con un nivel de confianza del 95% se tiene un modelo válido, representativo del sistema real, y que cualquier diferencia es estadísticamente insignificante y se debe a fluctuaciones aleatorias.

G. Diseño de experimentos

Para tomar decisiones, una vez validado el MS, es necesario conocer el número de replicaciones (simulaciones independientes), para tal propósito se utilizó el procedimiento de estimación de la media $\mu = E(x)$ con un error específico. Si el estimador \bar{X} es tal que $|\bar{X} - \mu| = \beta$, entonces se dice que \bar{X} tiene un error absoluto β . Si se asume que el estimador de la varianza poblacional no cambia apreciablemente a medida que el número de replicaciones se incrementa, una expresión aproximada para el número total del replicaciones $n * \beta$ requerido para obtener un error absoluto de β es dado por (5):

$$n * (\beta) = \min\{i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s_{(n)}^2}{i}} \leq \beta\} \quad (5)$$

Así es posible determinar $n \cdot \beta$, incrementando i en uno hasta que un valor i se obtiene para el cual (6):

$$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \quad (6)$$

Para el cálculo del número de replicaciones se utilizó una muestra de 10 datos de la variable tiempo promedio entre arribos de la calle Lerdo (Ver Tabla III), con un error absoluto de 2.00 segundos y un nivel de confianza de 90%. Cuyo resultado se muestra en (7).

TABLA III
DATOS DE LA VARIABLE TIEMPO DE ARRIBOS EN SEGUNDOS POR CALLE LERDO

Corridas	Tiempos entre arribos
1	28.157
2	10.669
3	7.7938
4	6.0943
5	7.8743
6	6.5333
7	41.3529
8	18.7905
9	17.951
10	3.5633
Media	14.87794
Varianza	143.75182

$i=120$

$$1.660 \sqrt{143.7518/120} = 1.8168 \leq 2.00 \quad (7)$$

Por lo tanto el número óptimo de replicaciones fue de 120.

H. Corridas del programa

El MS fue corrido 120 veces.

I. Análisis de resultados y Documentación

Si la instalación y operación de los semáforos es correcta, éstos podrán aportar diversas ventajas, en cambio, si uno o más semáforos son deficientes, provocarán entorpecimiento de tránsito tanto de vehículos como de peatones [8].

Los requisitos, que de acuerdo a la Ingeniería de Tránsito, deben evaluarse para la implementación de un semáforo son:

Requisito 1. Volumen mínimo de vehículos. La intensidad del tránsito de las vías que se cruzan es la principal justificación.

Requisito 2. Interrupción del tránsito continuo. Se aplica cuando las condiciones de operación de la calle principal son de tal naturaleza que el tránsito en la calle secundaria

sufre demoras o riesgos excesivos al entrar o cruzar la calle principal.

Requisito 3. Volumen mínimo de peatones. La afluencia de peatones que cruzan la calle por hora.

Requisito 4. Circulación progresiva. Distancia mínima requerida entre el semáforo más próximo.

Requisito 5. Antecedentes de accidentes.

Requisito 6. Combinación de los requisitos anteriores. Cuando ninguno de los requisitos anteriores se cumple al 100% pero dos o más se satisfacen en un 80%.

Los primeros tres requisitos se satisfacen cuando, durante cada una de las ocho horas de un día representativo se alcanzan los volúmenes mínimos indicados en la Tabla IV y que corresponden a valores de zona urbana.

La Tabla IV muestra la evaluación de los requisitos de Cal y Mayor y Cárdenas versus el MS.

TABLA IV
COMPARACIÓN DE LOS REQUISITOS DE CAL Y MAYOR Y CÁRDENAS VERSUS MS/SISTEMA REAL
(NOMENCLATURA: CP= CALLE PRINCIPAL; CS=CALLE SECUNDARIA; IT=INGENIERÍA DE TRÁNSITO)

Requisito 1: Volumen mínimo de vehículos					
Vehículos por hora	Requisito IT		MS		Cumplimiento %
	CP	CS	CP	CS	
	600	200	856	446	
Requisito 2: Interrupción del tránsito continuo					
Vehículos por hora	Requisito IT		MS		Cumplimiento %
	CP	CS	CP	CS	
	900	100	856	446	
Requisito 3: Volumen mínimo de peatones					
Peatones	Requisito IT		MS		Cumplimiento %
	Núm. de peatones en ocho horas	Vehículos por hora	Núm. de peatones en ocho horas	Vehículos por hora	
	150 o +	600	150 o +	446	
Requisito 4: Circulación progresiva					
Distancia del semáforo más próximo	Requisito IT		Sistema real		Cumplimiento %
	+ de 300 metros		- de 300 metros		
Requisito 5: Antecedentes de accidentes					
Accidentes	requisito IT		Sistema real		Cumplimiento %
	5 o más en los últimos 12 meses		3 accidentes en los últimos 30 días		
Requisito 6: Combinación de requisitos anteriores					
Combinación de requisitos	Requisito IT		Sistema real		Cumplimiento %
	Al menos dos o más requisitos se satisfacen en un 80%		Tres requisitos se cumplen al 100%		

III. RESULTADOS

Con un 95% de confianza se obtuvo un modelo de simulación representativo del sistema real y con base en el análisis de los resultados de dicho modelo, se tiene la evidencia para sustentar que la colocación de un semáforo en el cruce de la Avenida Independencia con calle Lerdo, resultará en una buena decisión para mejorar la vialidad y ofrecer seguridad a los usuarios, toda vez que se dio cabal cumplimiento en un 100% a cuatro de los seis requisitos que propone la Ingeniería de Tránsito.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La simulación es una técnica versátil, no solo aplicable a sistemas productivos o de transformación, el presente artículo muestra su aplicación a un sistema vial cuyos resultados, en caso de implementarse, colaborarán en la consecución de una vialidad segura.

Mediante la simulación fue posible la evaluación de los requisitos para que la instauración del semáforo logre que la vialidad en el cruce sea segura, de esta manera se pone en evidencia que la ciencia y la tecnología son de gran ayuda y relevancia para lograr mejores condiciones de vida.

Cabe mencionar que el simulador SIMIO® fue de gran apoyo para el estudio de simulación, ofreciendo una programación amigable y una animación muy realista.

El impacto de trabajos de esta índole favorece enormemente la vinculación entre universidad y sector productivo, en este caso, dependencia gubernamental, puesto que se muestra el sistema con tal realismo que logra que los escenarios que se prueben sean apreciados con un apego impresionante a la realidad.

Se recomienda ampliamente a las autoridades de la ciudad que promuevan una cultura vial, pues definitivamente, solo a través de la educación se lograrán avances importantes en materia de seguridad. También se recomienda el estudio pertinente para determinar el ciclo del semáforo considerando para ellos los cálculos correspondientes.

V. AGRADECIMIENTOS

Al titular de la Dirección de Tránsito y Vialidad de la Ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, México, por las facilidades ofrecidas y el apoyo durante la toma de datos.

VI. REFERENCIAS

- [1] Universidad Nacional Autónoma de México (2005), Instituto de Ingeniería. Tráfico vehicular. Disponible en: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no70/CNS07004.pdf>
- [2] Chanca, J. (2006). Simulación microscópica de tráfico urbano, presentado en XV jornadas del CEA-IFAC. Disponible en: <http://www.ceiaf.ac/actividades/jornadas/XV/documentos/34-ososareast.pdf>
- [3] Moras, C.G. y Ojeda, I. (2007). Evaluación de la eficiencia del programa de tránsito "cruces uno por uno", en la ciudad de Orizaba,

Veracruz, México, mediante microsimulación. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 1(1), pp. 9-19. Consultado de:

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B4GSSFQQLi9fmIHSFBsRVUwNzEtY25aVkZrYTYyQVJBSTUvZlI1RkFvamFHdUdR VHcwMVk>

- [4] Franco, L. (2008). Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. *FPUNE Scientific*, (4), pp. 75-82. Consultado de: <http://www.une.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/35/34>
- [5] Fuentes, L., Tobón, L.G., Rojas, L. y Moras, C.G. (2017). Simulación con SIMIO aplicada a la vialidad de una ciudad. *Theorema*. 21(3), pp. 32-37. Consultado de: https://docs.wixstatic.com/ugd/38df4a_c0b098874012470285340d9b5dca5492.pdf
- [6] Rodríguez Intriago, K., Oyola Estrada, E., Ordoñez Fernández, J., y Espinoza Urgiles, F. (2018). Descongestionamiento vehicular del redondeo el bananero mediante enlace vehicular en la avenida 25 de Junio. *Conference Proceedings*, 2(2). Consultado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/270>
- [7] Law, A. (2014). *Simulation Modeling and Analysis. Fifth Edition*. Estados Unidos de América: McGraw-Hill.
- [8] Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, Octava Edición. México: Alfaomega.

VII. BIOGRAFÍA



Fuentes Rosas, Liliana. Es candidata a Doctora en Ciencias de la Administración por la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada y productividad humana.

La Maestra Fuentes pertenece al Colegio Nacional de Ingenieros Industriales (CONAI), a la Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAM) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



López Cabrera, Anibal Gaudencio. Es maestrante de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. Licenciado en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada e Inteligencia Artificial.

El maestro López pertenece a la Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAM) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI).

Tobón Galicia, Lucila Guadalupe. Es Doctora en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería Industrial y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.



Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas y estadística aplicada.

La Doctora Tobón pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y miembro del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



Moras Sánchez, Constatino Gerardo. Es Maestro en Ingeniería Industrial por Tech University, Texas, Estados Unidos y Licenciado en Ingeniería Industrial por la Universidad de las Américas, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación de procesos.

El Maestro Moras Es Perfil Deseable por PRODEP y miembro de un Cuerpo Académico consolidado.

Reconocimiento De Caracteres Usando Una Tarjeta Zynq-7000 SoC

J.I. Vega-Luna¹, G. Salgado-Guzmán¹, M.A. Lagos-Acosta¹, J.F. Cosme-Aceves¹, F.J. Sánchez-Rangel¹

Resumen—Se presenta un sistema de reconocimiento de caracteres usando una tarjeta Zynq-7000 SoC. El objetivo fue contar con un sistema capaz de reconocer letras y concatenarlas para formar palabras cortas y reproducirlas en un altavoz, utilizando archivos de voz previamente grabada. El sistema se realizó para apoyar a personas débiles visuales con dificultades para leer textos y se implantó usando un altavoz y una cámara de video conectados a una tarjeta Zynq-7000 SoC con un FPGA y un procesador ARM Cortex-A9. La metodología usada fue dividir el sistema en dos módulos que realizan las siguientes funciones: registro y reproducción de voz, captura y almacenamiento de imágenes para reconocer caracteres usando el software OpenCV. Para el reconocimiento de caracteres se utilizó la técnica de coincidencia de plantillas, la cual compara imágenes de plantillas con una imagen para determinar si existe coincidencia. Los caracteres a reconocer son capturados como cuadros de video y almacenados usando un mapa de bits. Mediante OpenCV se determina el carácter y se reproduce en el altavoz el sonido o fonograma correspondiente. El porcentaje de exactitud fue 99.6% y el tiempo de reconocimiento fue 100 ms.

Palabras claves—Coincidencia de plantillas, FPGA, OpenCV, reconocimiento de caracteres, Zynq-7000 SoC.

Abstract—A character recognition system using a Zynq-7000 SoC card is presented. The objective was to have a system able to recognize letters, concatenate them to form short words and reproduce them in a loudspeaker, using previously recorded voice files. The system was made to support visually impaired people with reading difficulties and was implemented using a loudspeaker and a video camera connected to a Zynq-7000 SoC card with an FPGA and an ARM Cortex-A9 processor. The methodology used was to divide the system into two modules that perform the following functions: voice recording and playback, capture and storage of images to recognize characters using the OpenCV software. For character recognition, the template matching technique was used, which compares images of templates with an image to determine if there is a match. The characters to be recognized are captured as video frames and stored using a bitmap. The character is determined by OpenCV and the corresponding sound or phonogram is

reproduced on the loudspeaker. The accuracy percentage was 99.6% and the recognition time was 100 ms.

Keywords—Character recognition, FPGA, matching templates, OpenCV, Zynq-7000 SoC.

I. INTRODUCCIÓN

La función visual constituye un sistema sensorial importante por el contenido de información que aporta al cerebro. El sistema sensorial se modifica dependiendo de las condiciones de contraste, color e iluminación, como la luz natural o artificial. Las personas con función visual deficiente o limitada, se les conoce como débiles visuales. Estas personas tienen una disminución de la visión de grado variable, pueden percibir luz, ver bultos, contar dedos o movimiento de manos a corta distancia, que no mejora con tratamiento médico, quirúrgico u óptico (anteojos). Esto puede representar una pérdida temporal o permanente de la vista y constituye un obstáculo para el desarrollo normal de la vida del individuo. El objetivo de este trabajo fue desarrollar e implantar un sistema para el reconocimiento de caracteres, letras y dígitos, para apoyar a los débiles visuales en la identificación de éstos reproduciendo el fonema del carácter en un altavoz, es decir, que la persona escuche el fonema del carácter presentado al sistema aquí desarrollado.

El reconocimiento óptico de caracteres (OCR-Optical Character Recognition) es la técnica que consiste en tomar imágenes o fotografías de letras o dígitos y convertirlos a información entendible por una computadora. El OCR incluye tareas de pre-procesamiento, segmentación, extracción de características, clasificación y reconocimiento. Esta técnica ha sido estudiada, desarrollada y aplicada ampliamente en los últimos años. Algunas investigaciones realizadas incorporan algoritmos, como el Zidouri, para la segmentación, el de Blob para eliminación de áreas no deseadas y extracción de caracteres y el algoritmo de Hildrich. En algunas aplicaciones el OCR extrae diferentes características de una imagen para clasificar su contenido como letras o dígitos.

Dos de los métodos más usados para realizar OCR son el entrenamiento de un clasificador en cascada para cada letra y la comparación de plantillas. El primer método usa un archivo que indica las características que deben estar

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales, Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

* vlji@azc.uam.mx.

presentes en una imagen para determinar que el objeto deseado se encuentra en ella. El archivo del clasificador se usa para detectar objetos en una imagen. El clasificador crea un conjunto de ejemplos de entrenamiento, positivos y negativos, del objeto a identificar. Los ejemplos positivos contienen el objeto y los negativos no lo contienen. Usando la biblioteca de funciones de código abierto Open CV, se pueden generar archivos para el clasificador del tipo Haar o LBP basados en un conjunto de ejemplos proporcionados por el usuario.

El método de comparación de plantillas es más simple que el primero, ya que toma plantillas de imágenes existentes y las compara con una imagen para determinar la similitud de la plantilla con cada región de la imagen. Cada plantilla es movida en toda la imagen y, dependiendo de la exactitud del modo de comparación, se calcula y registra la calidad de la comparación. La calidad de la comparación de la plantilla con cada región se indica con un coeficiente de correlación.

Los últimos avances en el desarrollo de OCR se han enfocado a la aplicación de esta técnica para reconocer caracteres y símbolos de una imagen a texto editable por una computadora de idiomas como el Malayo, Árabe, Chino y Japonés, entre otros. Se ha creado una diversidad de investigaciones debido a que en algunos idiomas el OCR es una tarea desafiante en la cual los métodos tradicionales requieren mejoras [1]. Algunas investigaciones realizan reconocimiento en línea y otras a partir de un texto previamente escrito. Otras trabajan con OCR en dispositivos móviles y otras usando una computadora. Algunas investigaciones combinan OCR con: redes neuronales [2], el modelo oculto de Markov [3], análisis discriminante lineal (LDA-Linear Discriminant Analysis-LDA) y vecinos más cercanos (NN-Nearest Neighbor) [4], vectores de máquinas y clasificadores discriminantes cuadráticos (QDA-Quadratic Discriminate Classifier-QDA) [5], árboles de decisión y códigos de percepción [6], el script de Devanagari [7] y, las más recientes, con visión por computadora [8].

En cuanto al código usado para implantar OCR, algunas investigaciones han desarrollado código propio y otras han usado algoritmos de código abierto como en el caso del motor de Tesseract [9] y el de extracción de características de proyección horizontal y vertical [10].

El OCR se aplica actualmente en diversos campos de la tecnología y vida humana como por ejemplo: en reconocimiento de documentos bancarios [11], en lectura de números de serie de motores, en reconocimiento de gestikulaciones humanas [12], en lectura de placas de vehículos [13] y en apoyo a invidentes y débiles visuales. Algunas implantaciones de OCR, usan una computadora de propósito específico con una cantidad de recursos

considerable, ya que el método y algoritmos usados así lo demandan [14]. Otras implantaciones, las que han logrado menor tiempo de respuesta, han sido implantadas en hardware, usando un FPGA y un HPS (Hard Processor System). Particularmente, las aplicaciones de reconocimiento de objetos en una secuencia de video han sido implantadas en su mayoría utilizando FPGA [15].

Después de realizar una investigación para seleccionar el método de OCR más adecuado a usar en este trabajo, se optó por utilizar el de comparación de plantillas, ya que es el más sencillo de entender e implantar [16]. Se consideró que para la aplicación a realizar no se necesita un método o algoritmo más sofisticado. A pesar de ser el más sencillo, la cantidad de recursos de cómputo que demanda el método de comparación de plantillas, el tiempo de respuesta y exactitud que se lograron son aceptables, razón por la cual se implantó a través de un FPGA en la aplicación aquí presentada [17].

Un FPGA (Field Programmable Gate Array) es un dispositivo lógico programable que incorpora gran cantidad de compuertas lógicas y circuitos digitales cuya interconexión y funcionalidad puede configurarse mediante un lenguaje de descripción de hardware o una herramienta gráfica. Esto los hace flexibles al flujo de diseño y presentan costo de adquisición bajo para pequeñas cantidades de dispositivos, además que el tiempo de desarrollo es menor en comparación con otros dispositivos digitales. Se usan cada vez más en aplicaciones de procesamiento digital de señales y sistemas electrónicos de control. Permiten implantar sistemas complejos en un circuito integrado reemplazando a tarjetas de desarrollo que contienen varios circuitos, interfaces y buses.

Uno de los fabricantes de FPGA es Xilinx. Los FPGA de Xilinx incluyen procesadores con características y funcionalidades a la medida, memoria y transceptores de alta velocidad. Un procesador que puede implantarse con la lógica programable y bloques de memoria de las familias de FPGA de Xilinx, es el procesador ARM Cortex-A9. Es uno de los procesadores embebidos más utilizados en la industria de los FPGA. Es equilibrado en rendimiento y tamaño para aplicaciones de procesamiento de información. Tiene arquitectura RISC de 32 bits y la naturaleza de su núcleo por software permite que el ARM Cortex-A9 sea creado con características específicas para cada aplicación. Puede extenderse la funcionalidad básica del ARM Cortex-A9, adicionándole unidades de manejo y protección de memoria e instrucciones y periféricos personalizados para ejecutar un sistema operativo.

El uso de un FPGA presenta tres ventajas: son dispositivos reprogramables, disminuyen el costo y tiempo de desarrollo y proporcionan mayor rendimiento a las

aplicaciones. Debido a estas ventajas, así como a la frecuencia alta de trabajo y capacidad de procesamiento en paralelo, los FPGA exceden la potencia de cómputo de los procesadores digitales de señales (DSP).

La variedad de aplicaciones de un FPGA es muy amplia, entre las cuales se encuentran: sistemas de visión, tratamiento de imágenes médicas, radio por software, reconocimiento de voz e imágenes, codificación y encriptación, radioastronomía y aeronáutica. Existen proveedores de tarjetas de desarrollo que conjuntan un FPGA con circuitos de memoria, interfaces serie y de red, interruptores y dispositivos de salida como leds y displays LCD. Una de las tarjetas de desarrollo de Xilinx es la Zync-7000 SoC, la cual fue utilizada en este trabajo. Xilinx ofrece el software Vivado para el diseño y simulación de circuitos en la tarjeta Zync-7000 SoC y soporta el uso de los lenguajes de descripción de hardware VHDL y Verilog. La programación realizada en Vivado se transfirió desde una computadora a la Zync-7000 SoC para probar el diseño de la aplicación aquí presentada. El procesador ARM Cortex-A9 implantado en el FPGA y los diferentes componentes de la Zync-7000 SoC permitieron crear el sistema digital completo. Para implantar el sistema embebido con el procesador ARM Cortex-A9, se hizo uso de las herramientas SOPC Builder y Qsys que incorpora Vivado, utilizando la interfaz gráfica para establecer las características del procesador y seleccionar los componentes como: periféricos, bloques de entrada/salida, temporizadores, interfaces y controladores, en lugar de escribir código para realizar el sistema embebido. Por estas funcionalidades y los recursos de la tarjeta Zync-7000 SoC se utilizó un FPGA para obtener un sistema práctico, confiable y eficiente en el desarrollo de la aplicación desarrollada.

La ventaja de utilizar el método de comparación de plantillas, en este sistema, es que se implanta de una manera simple, aunque requiera más hardware, además de ser el método de OCR, más usado, en investigaciones recientes. La aportación de este trabajo es la ayuda que proporciona a débiles visuales, de una manera eficiente, identificando caracteres y dígitos, a través de un sistema realizado con componentes de reciente tecnología, bajo costo y, en su mayoría, con software de código abierto.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología usada en el desarrollo de este trabajo fue dividirlo en cinco módulos: el módulo de la tarjeta Zync-7000 SoC, el módulo de entrada de video, el módulo de entrada de audio, el módulo de salida de audio y el módulo de reconocimiento. Una vez definidos los módulos del sistema se procedió a identificar las funciones específicas y componentes de cada uno de ellos usando los siguientes

principios: el sistema resultante debe ser compacto, confiable y fácil de utilizar. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema. La función y componentes de cada módulo se explican a continuación.

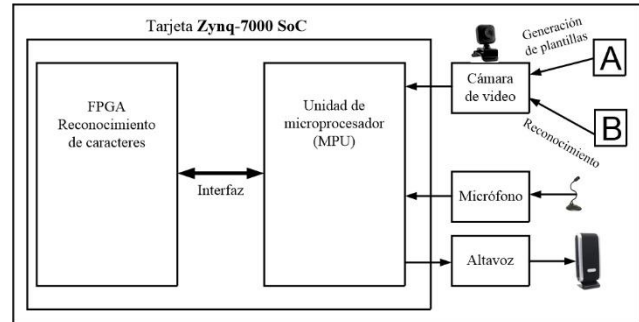


Figura 1. Bloques funcionales del sistema

A. Módulo de la tarjeta Zync-7000 SoC

La tarjeta Zync-7000 SoC tiene un hardware robusto integrado por un FPGA Xilinx, que se combina con un microprocesador de última generación Cortex-A9 (MPU), de alto rendimiento y bajo consumo de energía. Tiene una RAM DDR3 de alta velocidad, capacidades para video y audio e interfaz Ethernet. Contiene todas las herramientas necesarias para usar la tarjeta con una computadora que ejecute Windows. En la Figura 2 se muestra la tarjeta Zync-7000 SoC utilizada en el desarrollo del sistema y en la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques del sistema de procesamiento de tarjeta.

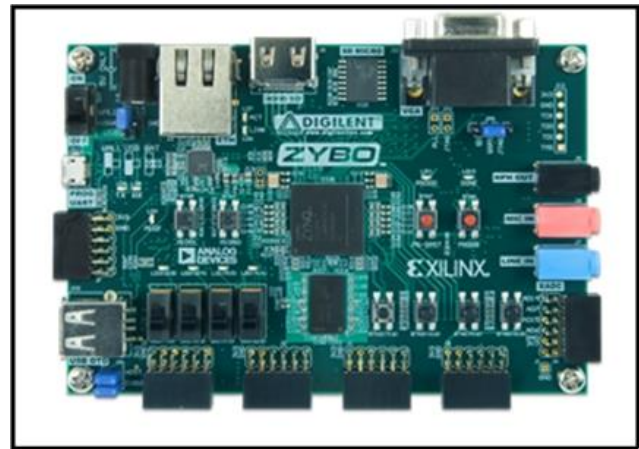


Figura 2. Tarjeta Zync-7000 SoC

B. Módulo de entrada de video

Para la entrada de video y captura de imágenes, tanto para generar las plantillas como para el reconocimiento de caracteres, se utilizó una cámara de video, como la mostrada en la Figura 4, conectada al puerto mini USB de la tarjeta Zync-7000 SoC. Las imágenes capturadas se convirtieron a formato de mapa de bits (bmp) y se

almacenaron en la tarjeta Micro SD que forma parte de los recursos del microprocesador.

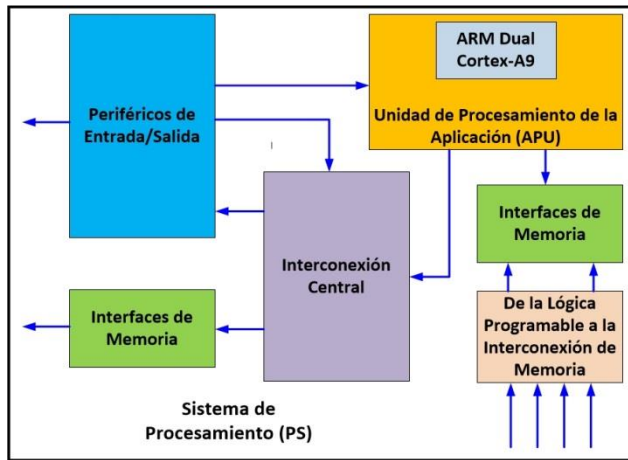


Figura 3. Bloques funcionales de la Tarjeta Zynq-7000 SoC



Figura 4. Cámara de video con conector mini USB

La estructura del archivo bmp generado consta de cuatro elementos: el encabezado del archivo, el encabezado de información del mapa de bits (también llamado encabezado de información), la paleta de la imagen y el cuerpo de la imagen. Se confirmó que las imágenes sean consistentes en calidad y apariencia. Se capturaron imágenes de letras y dígitos decimales a varias distancias para asegurar que sean distinguibles en la imagen, lo cual se explica en las pruebas y resultados obtenidos.

C. Módulo de entrada de audio

Para la entrada de audio se utilizó un micrófono, como el mostrado en la Figura 5, conectado a un puerto USB de la tarjeta Zync-7000 SoC. Esto sirvió para grabar y registrar en la memoria SD el fonema de cada letra y dígito a reconocer.

D. Módulo de salida de audio

Para la salida de audio se utilizó un altavoz, como el mostrado en la Figura 6, conectado a otro puerto USB de

la tarjeta Zync-7000 SoC. Por este medio se reproducen los fonemas previamente grabados y registrados al reconocer una letra o dígito.



Figura 5. Micrófono con conector USB



Figura 6. Altavoz con conector USB

E. Módulo de reconocimiento

Las plantillas generadas se usan para probar la coincidencia de la imagen capturada con una plantilla. Esto se hace utilizando las funciones existentes en la biblioteca de funciones de código abierto OpenCV, instalada y configurada en la tarjeta Zync-7000 SoC. Particularmente, se utilizó la función *matchTemplate*, con la cual se genera una matriz de coeficientes de correlación para una imagen, una plantilla y un método de coincidencia. Estos coeficientes de correlación se analizaron para determinar el valor máximo del coeficiente de correlación y la ubicación de cada letra o dígito. La comparación de estos coeficientes máximos entre letras o dígitos permitió determinar la mejor letra o dígito coincidente.

En (1) se indica la función matemática usada para calcular el coeficiente de correlación, R , en cada ubicación (x, y) usando la plantilla T en la imagen I , la cual fue implantada utilizando OpenCV.

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T'(x', y') \cdot I'(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T'(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I'(x + x', y + y')^2}} \quad (1)$$

I. RESULTADOS

Para probar la funcionalidad del sistema se llevaron a cabo dos grupos de pruebas. El primer grupo tuvo como objetivo determinar el mejor tamaño de letras y dígitos a usar para generar las plantillas del método de comparación y llevar a cabo el reconocimiento. Para realizar estas pruebas se seleccionó el tipo de letra Arial negra y se imprimieron 8 conjuntos de 37 caracteres cada uno. Cada conjunto estuvo compuesto de las 27 letras mayúsculas del alfabeto español, incluyendo la Ñ, y los 10 dígitos decimales. El tamaño de los caracteres de cada conjunto fue: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 puntos, respectivamente. A continuación, se capturó, a través de la cámara de video, la imagen de cada caracter de los 8 conjuntos a una distancia de 60 centímetros. Las pruebas de este grupo consistieron en capturar 500 imágenes de caracteres y llevar a cabo el reconocimiento, tomando en cuenta que algunos caracteres a reconocer se repitieron. El reconocimiento inició usando primero el conjunto de plantillas de 50 puntos, posteriormente usando el conjunto de plantillas de 100 puntos, y así sucesivamente, hasta probar el reconocimiento utilizando cada conjunto de plantillas.

Los resultados mostraron, que, utilizando el conjunto de 50 puntos, de 500 caracteres capturados, se reconocieron 275, es decir, el 55%. Usando el conjunto de 100 puntos, de 500 caracteres capturados, se reconocieron 300, el 60%. De tal forma que se logró la mejor exactitud, 99.6%, al reconocer 498 caracteres de 500, cuando el tamaño del caracter de las plantillas fue mayor o igual a 300 puntos como se indica en la gráfica de la Figura 7.

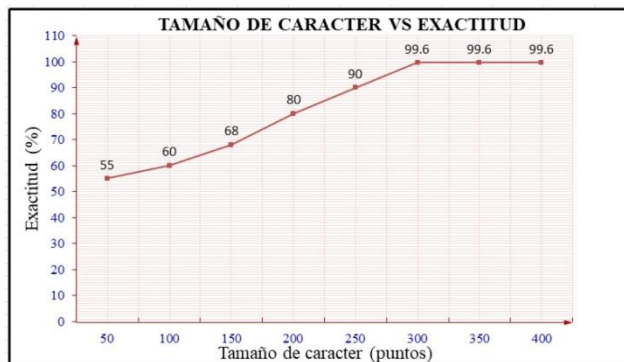


Figura 7. Exactitud lograda en el reconocimiento

El segundo grupo tuvo como objetivo determinar la mejor distancia de captura de la imagen de la plantilla y la

del caracter a reconocer para obtener el menor tiempo de respuesta del sistema. Las pruebas consistieron en realizar las capturas a diferentes distancias. Los resultados mostraron que a distancias entre 10 y 110 centímetros, el tiempo de reconocimiento fue 100 ms, el cual se incrementó hasta 600 ms al llevar a cabo las capturas a 110 centímetros, como se indica en la gráfica de la Figura 8. Para distancias mayores a esta última se consideró no continuar probando debido a que 600 ms es un tiempo alto de reconocimiento. Un problema que se presentó, a distancias mayores a 110 centímetros, fue que en algunas ocasiones el sistema no pudo distinguir entre la letra I y el número 1 y entre la letra O y el número 0.

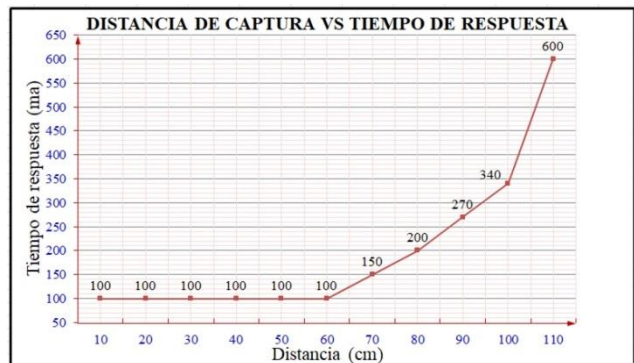


Figura 8. Distancia de captura y tiempo de respuesta

II. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La exactitud lograda en este trabajo fue 99.6%, mayor al de otras investigaciones realizadas, pero debe considerarse que los algoritmos y la aplicación llevada a cabo es esas investigaciones son más sofisticados, por ejemplo el método que usa el algoritmo del Tesseract logró una exactitud de 88% y el que usa proyecciones horizontales y verticales logra 98.06%. También debe considerarse que existen algoritmos con mayor exactitud que la lograda en esta aplicación, como por ejemplo los que utilizan visión por computadora los cuales logran una exactitud de 99.99% cuyo uso no fue explorado en este trabajo. En cuanto al tiempo de respuesta, las investigaciones realizadas hasta el momento han demostrado que el menor tiempo, del orden de 10 a 11 ms, se logra implantando OCR a través de un FPGA. En este trabajo se logró un tiempo de respuesta de 100 ms., el cual se considera aceptable para la aplicación creada.

Finalmente, el trabajo a desarrollar a futuro es extender la implantación aquí realizada para concatenar caracteres y realizar reconocimiento de palabras. En este caso, tal vez sea recomendable usar otro método de OCR, por ejemplo, el de entrenamiento de un clasificador en cascada para obtener mayor exactitud utilizando herramientas de código abierto cada vez más disponibles y eficientes.

III. REFERENCIAS

- [1] Peymani, K. y Soryani, M. (2017). "From machine generated to handwritten character recognition; a deep learning approach", in *Proceedings 3rd International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA)*, pp. 243-247.
- [2] Joshi, D. S. y Risodkar, Y. R. (2018). "Deep Learning Based Gujarati Handwritten Character Recognition", in *Proceedings International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT)*, pp. 563-566.
- [3] Thulasi, N. P., y Francis, S. (2017). "Intelligent tool for Malayalam cursive handwritten character recognition using artificial neural network and Hidden Markov Model", in *Proceedings International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*, pp. 595-598.
- [4] Odate, R. y Goto, H. (2015). "Fast and accurate candidate reduction using the multiclass LDA for Japanese/Chinese character recognition", in *Proceedings IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 951-955.
- [5] Prameela, N., Anjusha, P. y Karthik, R. (2017). "Off-line Telugu handwritten characters recognition using optical character recognition", in *Proceedings International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Volume: 2, pp. 223-226.
- [6] Akouaydi, H., Abdelhedi, S. y Njah, S. (2017). "Decision trees based on perceptual codes for on-line Arabic character recognition", in *Proceedings 1st International Workshop on Arabic Script Analysis and Recognition (ASAR)*, pp. 153-157.
- [7] Pachpande, S. y Chaudhari, A. (2017). "Implementation of devanagiri character recognition system through pattern recognition techniques", in *Proceedings International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, pp. 717-722.
- [8] Patil, A. V. y Dhanvijay, M. M. (2015). "Engraved character recognition using computer vision to recognize engine and chassis numbers: Computer vision technique to identify engraved numbers", in *Proceedings International Conference on Information Processing (ICIP)*, pp. 151-154.
- [9] Li, Q., An, W. y Zhou, A. (2016). "Recognition of Offline Handwritten Chinese Characters Using the Tesseract Open Source OCR Engine", in *Proceedings 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, Volume: 02, pp. 452-456.
- [10] Mahto, M. K., Bhatia, K. y Sharma, R. K. (2015). "Combined horizontal and vertical projection feature extraction technique for Gurmukhi handwritten character recognition", in *Proceedings International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, pp. 59-65.
- [11] Zho, H., Zhu, G. y Peng, Y. (2016). "A RMB optical character recognition system using FPGA", in *Proceedings IEEE International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, pp. 539-542.
- [12] Yin, F., Liu, P. y Huang, L. (2015). "Lexicon-driven recognition of one-stroke character strings in visual gesture", in *Proceedings 13th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, pp. 421-425.
- [13] Jing, Y., Youssefi, B. y Mirhassani, M. (2017). "An efficient FPGA implementation of Optical Character Recognition for License Plate Recognition", in *Proceedings IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pp. 1 - 4.
- [14] Park, H., Lee, C. y Lee, H. (2017). "Work-in-progress: optimizing DCNN FPGA accelerator design for handwritten hangul character recognition", in *Proceedings International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis For Embedded Systems (CASES)*, pp. 1-2.
- [15] Ivanov, S., Stankov, S. y Nenov, T. (2018). "FPGA Based Neural Networks for Characters Recognition", in *Proceedings 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, pp. 1-3.
- [16] Yata, K., Koutaki, G. y Uchimura, K. (2015). "Image matching by eigen template method for multi-class classification", in *Proceedings 21st Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV)*, pp. 1-4.
- [17] Zhang, Q., Wu, J. y Li, C. (2018). "Study of the Effects of Non-Square Resolutions of Bistatic Sar on Template Matching Performance", in *Proceedings IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 557-560.

IV. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Salgado-Guzmán Gerardo. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras. El Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.



Cosme-Aceves José Francisco. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware. El M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.

Utilización de Residuos Sintéticos para Mejorar Las Capacidades de Materiales para Construcción

J. Rentería-Soto*¹, J.R. Betancourt-Chavez², A.T. Espinoza-Fraire³, J.A. Sáenz-Esqueda⁴.

Resumen—Las llantas en desuso generan contaminación al medio ambiente dado que impulsan la propagación de plagas y son muy peligrosas si se produjera un incendio, dada su naturaleza es complicado apagarlas, la quema incontrolada de las llantas genera sustancias cancerígenas, también los residuos plásticos del proceso de reciclado, son desaprovechados debido a la falta de un uso específico para ellos, por lo que son desechados causando un problema de contaminación debido a que tienen una biodegradación aproximada de 100 años. La investigación plantea la utilización de los residuos para mejorar la capacidad del concreto, ya que es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción, se diseñó una mezcla de concreto y se modificó con la adición de fibras de caucho y polipropileno en diferentes porcentajes en relación del cemento, se elaboraron las mezclas y se ensayaron a edad de 7, 14 y 28 días, se analizó el comportamiento de la mezcla en estado fresco y la resistencia a la compresión y se revisó la incidencia de ambos desechos sobre las mezclas de concreto, obteniendo que no afecta la trabajabilidad y en algunos casos mejora la resistencia.

Palabras claves—Residuos plásticos, caucho sintético, contaminación, concreto.

Abstract— The disused tires generate pollution to the environment since they promote the spread of pests and are very dangerous if a fire were to occur, given its nature it is difficult to extinguish them, the uncontrolled burning of the tires generates carcinogenic substances, also the plastic waste of the recycling process, they are wasted due to the lack of a specific use for them, so they are discarded causing a contamination problem because they have an approximate biodegradation of 100 years. The research proposes the use of waste to improve the capacity of concrete, since it is one of the most used materials in the construction industry, a concrete mixture was designed and modified with the addition of rubber and polypropylene fibers in different percentages in relation to the cement, the mixtures were elaborated and they were tested at ages of 7, 14 and 28 days, the behavior of the mixture in fresh state and the resistance to compression was analyzed and the incidence of both residues on the concrete mixtures was checked, obtaining that it does not affect the workability and in some cases improve compressive strength.

Keywords—Plastic waste, synthetic rubber, pollution, concrete.

I. INTRODUCCIÓN

El principal factor que define la vida útil de una llanta es la distancia que recorre, siendo medida en kilómetros (km), normalmente es de 50 000 [1]. Reutilizar los neumáticos representa además de evitar la gran acumulación, ahorrar petróleo para la fabricación de nuevos, para la fabricación de un neumático de coche normal se necesitan 32 litros de petróleo crudo, mientras que para el reacondicionamiento de uno se necesitan 11 litros, una llanta de camión (que es mucho más grande) requiere 100 litros y para uno reciclado 32 litros aproximadamente, que constituye un ahorro entre el 30 % y el 50 % de material [2].

El término plástico, tiene un origen griego que significa “que puede ser moldeado por el calor”. Los plásticos también son comúnmente llamados polímeros en virtud de que son productos orgánicos, a base de carbono, con moléculas de cadenas largas [3]. El polipropileno es un polímero que se emplea en la fabricación de numerosos envases de alimentos, tales como bandejas, bolsas, envoltorios, etc. [4]. En el caso del polipropileno, y de algunos otros plásticos, tienen resultados negativos de biodegradación según estudios realizados por algunos autores [5]-[7].

En la actualidad se enfrentan retos importantes en la industria de la construcción, siendo el concreto el encargado de cubrir gran mayoría de estos retos ya que es el material más importante en esta industria. El concreto es una mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua [8]. Tiene dos principales clasificaciones, concreto simple y concreto reforzado, el segundo es aquel que se emplea con algún elemento extra para aumentar sus propiedades o resistencia [9]. En [10] se presenta un estudio del efecto de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto fresco y endurecido, los autores reportan que las fibras modifican de manera positiva la mayoría de los factores observados. En [11] desarrollaron una investigación sobre la adición de perlita y fibras de polipropileno en yeso, los principales resultados obtenidos

^{1,2,3,4} Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Av., Universidad s/n Fracc. Filadelfia de Gómez Palacio, Dgo. CP. 35010. *juan.renteria@ujed.mx.

son que no disminuye la resistencia, disminuye la densidad y la resistencia a la flexión aumenta. El reporte presentado en [12] contiene el estudio de una mezcla de concreto adicionado con fibras de polipropileno, se observó el nivel de adherencia que se presenta entre la matriz cementante y las fibras, obteniendo que con 2.5% de fibras y otro aditivo se logran resultados favorables de adherencia.

La presente investigación contempla el desarrollo de una mezcla de concreto convencional y reforzarlo adicionándole fibras sintéticas de polipropileno y caucho de llantas, ambos materiales son residuos del proceso para la reutilización, pero debido a que al cortar las piezas de polipropileno la sierra acumula fibras de diferente tipo, mezclándolas y haciendo imposible la reutilización, en el caso de las fibras de caucho, el proceso de reacondicionamiento de los neumáticos da como residuo las fibras. En ambos casos las partículas sobrantes son desechadas siendo un potencial contaminante para el medio ambiente.

El objetivo de la investigación es mejorar la capacidad a compresión del concreto sin afectar las características en estado fresco para no afectar la colocación, utilizando materiales de desecho y disminuir la afectación al medio ambiente.

II. METODOLOGÍA

Se elaboró una mezcla de concreto simple y se agregaron fibras de desecho, se fabricaron las mezclas con distintos porcentajes y se midieron las propiedades en el laboratorio de materiales.

A. Materiales

Se utilizaron agregados provenientes de la región de la Comarca Lagunera de Durango. La arena se procesó para cumplir con la granulometría ya que directamente de banco no tiene las características correctas de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE-1997. los materiales son los siguientes:

- Agua
- Cemento CPC 30R Cemex
- Agregado grueso, grava de caliza triturada
- Agregado fino, arena de río

Se diseñó la mezcla para una resistencia de 150 kg/cm², revenimiento de 15 cm ± 2.5cm. El diseño inicial fue para un metro cúbico (Tabla I) de acuerdo al método de volumen absoluto que presenta el Portland Cement Association (PCA) [14]. Tomando como base la mezcla se agregaron fibras en distintos porcentajes. Siendo para el polipropileno adiciones de 5%, 10% y 15% y para el caucho se

consideraron solo 10% y 15%. Los porcentajes añadidos fueron en función del peso del material cementante.

TABLA I
AGREGADOS PARA MEZCLA

Agregados	Cantidad (kg)
Agua	200.00
Cemento	270.00
Grava	959.40
Arena	769.94

En total se fabricaron 6 mezclas de 0.10 m³ cada una, mezcla base (M1), dos con caucho 10% (M2) y 15% (M3) y tres con polipropileno 5% (M4), 10% (M5) y 15% (M6). De la cantidad fabricada se realizaron las pruebas en estado fresco y se elaboraron los especímenes y se curaron en inmersión total en agua para obtener la resistencia a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días.

III. RESULTADOS

Se le efectuaron pruebas en estado fresco a cada mezcla elaborada, los resultados se presentan en la Tabla II, donde se enlistan de M1 a M6, los factores medidos son: revenimiento, temperatura y densidad de la mezcla.

El revenimiento se encuentra dentro de los valores aceptables según el PCA [14], a excepción de la mezcla con 5 % de adición de caucho la cual presenta un valor muy por debajo del valor de diseño. La temperatura no presentó variación en ninguna de las mezclas, en cuanto a la densidad, sí presenta diferencias en su medición, la mezcla sin algún tipo de agregado presenta el valor más alto, mientras que las mezclas M2 Y M4 que tienen el mismo porcentaje de adición presentan diferencia, siendo más pesada la mezcla con polipropileno, pero por solo 14.6 kilogramos, comparando las mezclas M3 y M5 que tienen 10% de adición pasa lo contrario se vuelve más pesada la mezcla con caucho. La mezcla M6 es la más ligera de las 6, siendo 3.68 % menor que la mezcla base.

TABLA II
RESULTADOS EN ESTADO FRESCO

	%	Revenimiento (cm)	Temperatura (°c)	Densidad (kg/m ³)
Base	0	17	28	2232.21
Caucho	5	8	29	2212.94
	10	15	28	2190.46
Polipropileno	5	15	29	2227.54
	10	17	30	2170.27
	15	17	30	2150.06

Se fabricaron dos cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para cada edad en cada una de las mezclas, siendo un total de 36 cilindros. Las tablas 3, 4 y 5 contienen el

resultado a la compresión medio del ensayo de los dos cilindros para edades de 7 días, 14 días y 28 días respectivamente.

Para la edad de 7 días la Tabla III contiene los resultados, deben aproximarse al 75% de la resistencia de diseño, la mezclas sin agregado extra y las dos mezclas con caucho si cumplen con esta premisa pero las mezclas con polipropileno no. A los 14 días las mezclas deben obtener por lo menos el 85%, los resultados para las mezclas mostrados en la Tabla IV, tienen la misma tendencia, solo las tres mezclas que cumplieron a la primera edad también lo hacen a esta edad. Para los 28 días las mezclas M1, M2, M3 Y M4 alcanzan el 100% de la resistencia de diseño, los resultados se presentan en la Tabla V.

TABLA III
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	118.42	78.94%
M2	123.52	82.34%
M3	119.06	79.37%
M4	63.66	42.44%
M5	50.92	33.95%
M6	38.19	25.46%

TABLA IV
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	138.19	92.13%
M2	146.44	97.63%
M3	132.43	88.29%
M4	101.85	67.90%
M5	114.59	76.39%
M6	120.95	80.63%

TABLA V
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	152.80	101.87%
M2	164.26	109.51%
M3	150.26	100.17%
M4	159.15	106.10%
M5	133.43	88.95%
M6	127.32	84.88%

La variación en la densidad reportada en la Tabla II, se produce debido a que el peso de los agregados sintéticos que conforman las mezclas es inferior al de los agregados pétreos, disminuyendo a medida que se incrementa el porcentaje de adición de las fibras.

La Figura 1 contiene un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de los cilindros, en la cual se observa que a la edad de 7 días las mezclas con polipropileno presentan una tendencia descendente, a mayor porcentaje de fibras menor es la resistencia, para las mismas mezclas a los 14 días la tendencia es lo contrario al anterior, a mayor porcentaje mayor resistencia, pero a los 28 días de edad los

resultados se vuelven a comportar como a la edad de 7 días. La variación de los resultados se puede atribuir a que a temprana edad las fibras no tienen suficiente adherencia con la pasta del concreto y se comportan sin resistencia alguna, las mezclas con caucho tienen un comportamiento más uniforme, ascendente en las 3 edades, pero comparando las mezclas M2 y M3 se observa que la mezcla con el 5% de adición desarrolla mejores resultados, superiores a los obtenidos en la mezcla M1.

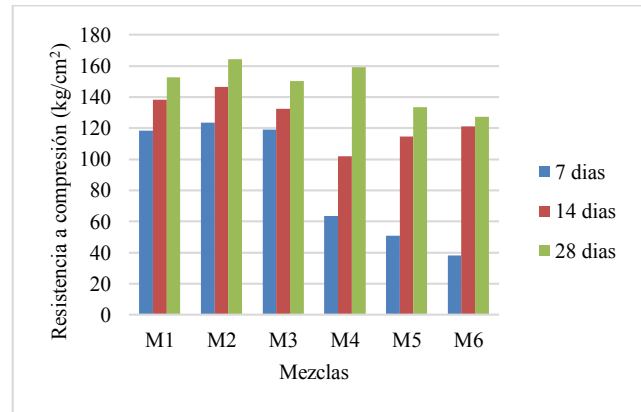


Figura 1. Resistencia a la compresión.

IV. CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos se concluye que en estado fresco no se afectan las propiedades, y las fibras ayudan a disminuir el peso volumétrico del concreto a mayor porcentaje de fibras menor es la densidad. La capacidad a compresión no se ve afectada con fibras de caucho, en las tres edades tabuladas para porcentajes de 5% y 10% pero la primera presenta resultados superiores concluyendo que con 5% de fibras de caucho es posible disminuir el peso del concreto y mejorar los resultados a la compresión. El concreto con fibras de polipropileno no puede ser empleado para edades tempranas ya que tiene valores de resistencia muy desfavorables, pero en adiciones del 5% a 28 días de edad si mejora la resistencia. Para ambos materiales es posible emplearlos con 5% de adición en función del material cementante ya que disminuye la densidad y mejora la resistencia, aunado a esto se beneficia el medio ambiente por darle uso a los desechos.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango por el apoyo para la realización de la investigación. Se extiende un especial agradecimiento al personal del laboratorio de la misma facultad por el apoyo en la realización de las pruebas.

VI. REFERENCIAS

- [1] Sánchez Juan, R. (2012). "Segunda vida de los neumáticos usados." *Química Viva*, 11 (1), 24-39.
- [2] Flores, D. (2013). "Diseño, fabricación y caracterización de aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adiciones de materiales de procedencia orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs)," tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España.
- [3] Pérez, J. G. (2014). "La industria del plástico en México y el mundo." *Comercio exterior*, 64(5), 6.
- [4] *Plastivida Argentina* (1997). *Ecoplast*, 1(4), 27 pp.
- [5] Müller R.-J., Deckwer W.-D. (2000). "Biologically degradable polymers." *GBF Annual Report 1999-2000*, edit. por Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig, Alemania, 35-54.
- [6] Lombardi C.C., Cavalcante M.S., Gregori R.E. (1978). "Estudo comparativo de biodegradabilidade no solo de alguns países e plásticos utilizados em embalagens comerciais." En: *Actas del III Congresso Brasileiro de Limpeza pública-I Congresso Pan-Americano de Limpeza pública*, Sao Paulo, Brasil, 22 al 25 de agosto, 19 pp.
- [7] Alonso, M. S., Viturro, C. I., Sueldo, M. G., Lozano, A. R., & Madregal, S. O. (2015). "Biodegradación de polipropileno: evaluación gravimétrica y por espectroscopia infrarroja." Universidad Nacional de Jujuy, Buenos Aires.
- [8] ACI Committee 318, 2014, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318S-14) and Commentary (318RS-14)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 587 pp.
- [9] IMCyC, 2008, "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto-Método de prueba", *El concreto en la obra PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES*, Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto, pp 67-71, noviembre 2008.
- [10] Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). "Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concreto y cemento." *Investigación y desarrollo*, 2(2), 35-47. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003&lng=es&tlng=pt
- [11] García Santos, A. (2009). "Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido." *Materiales de Construcción*, 59(293), 105-124.
- [12] Santos, A. G., Rincón, J. M., Romero, M., Hernández-Crespo, M., & Morales, R. T. (2004). "Microestructura de un material compuesto basado en una matriz de cemento reforzado con fibras de polipropileno." *Materiales de construcción*, (274), 73-82.
- [13] NMX-C-077-ONNCCE-1997. (1997). *Agregados para concreto análisis granulométrico y métodos de prueba*. Recuperado el 25 de septiembre de 2018
- [14] PCA, 2004, "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", *Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU.*, 2004, 448 pp

VII. BIOGRAFÍA



Rentería-Soto Juan. Nació en Gómez palacio, Durango, México el 6 de noviembre de 1985. Estudió la licenciatura en ingeniería civil en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, obtuvo el grado de maestría en ingeniería civil en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en el año 2016 y actualmente estudia el doctorado en la Universidad Autónoma de Chiapas.

Trabajó en control de calidad para la empresa PRODEMEX de agosto del 2011 a julio del 2012 en la construcción de Centro Federal de Readaptación social en el ejido 6 de Octubre, Gómez Palacio, residente de obra para la misma empresa en la construcción del Hospital General de Gómez palacio en el 2016, realizó un intercambio de un semestre en la

UANL en el semestre B 2012 y una estancia de investigación en la UAM-AZC en el 2014. Desde agosto del 2016 trabaja como profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la UJED.

El MIC Rentería trabaja en la caracterización de propiedades mecánicas de nuevos materiales y comportamiento estructural.



Betancourt-Chávez Julio Roberto. Obtuvo el grado en la Universidad de Sonora a través del Doctorado en Ingeniería Civil CUMex en marzo de 2015, fue Jefe de Posgrado en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, durante el periodo comprendido de febrero de 2007 a septiembre de 2016. Perteneció al grupo de Investigación "Tecnología de la Construcción". Actualmente es profesor-investigador en la misma Facultad y trabaja en proyectos para el desarrollo de nuevos materiales en la construcción utilizando residuos como aditivos o sustitución de agregados. Ha participado en congresos a nivel Nacional e Internacional, también ha publicado artículos de investigación en revistas indexadas.



Espinoza Fraire Arturo Tadeo. Nació el 19 de abril de 1983 en Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de Ingeniería en Electrónica en la especialidad de Control Automático e Instrumentación en 2008 en el Instituto Superior de Lerdo, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Mecatrónica y Control en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 2011 y 2015 respectivamente.

Trabajó en la empresa Ingeniería Mexicana de Sistemas del 2007 al 2008, realizó estancias de investigación en el laboratorio Franco-Mexicano en el CINVESTAV Zacatenco en el 2010 y una estancia de investigación en la Université de Technologie de Compègne en el 2011 en Francia. Desde el 2017 labora como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio Durango, México.

El Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire es parte del comité técnico internacional del International Conference on Unmanned Aircraft Systems y nivel C del sistema nacional de investigadores (SNI). Sus áreas de interés son: vehículos aéreos no tripulados, control lineal y no lineal, sistemas embebidos y aplicaciones con vehículos aéreos no tripulados.



Sáenz Esqueda José Armando. Nació en Gómez Palacio, Durango el 15 de julio de 1988. El historial académico es el siguiente:

- Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2010.
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica y Control, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2013.

Doctor en ciencias por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el área de Mecatrónica y Control. Sus áreas de interés son: Control no Lineal, Robótica Móvil, Visión Artificial.

Dr. Sáenz es miembro de la Asociación Mexicana de Robótica.

Prototipo Para Terapia o Ablación de Cáncer Mediante Microondas

R. L. Corral-Bustamante¹, A. Aragonz-Aguirre¹, J. U. Acosta-Arévalo¹, I. E. Parra-Domínguez¹ y A. J. Lam-Bencomo¹

Resumen— El objetivo de este trabajo, consiste en la elaboración de un prototipo piloto con fines oncológicos, tales como el brindar diagnóstico de tumores, terapia mediante microondas y ablación de tumores en órganos como hígado, pulmón, riñón, próstata y mama. El alcance en la actualidad ha sido el diseño de las piezas que integran el prototipo, las cuales se elaboraron en solidworks y se imprimieron en computadora 3D, y ya se diseñan y realizan físicamente los circuitos electrónicos e interfaz para dar funcionalidad al prototipo.

Se hizo uso de software especializado para modelar y simular la terapia de cáncer mediante microondas y la ablación de un tumor en ocho minutos de exposición, con la finalidad de conocer los parámetros precisos para estos fines oncológicos. De ello, se obtuvo, por ejemplo, el campo de temperatura, de radiación y de tasa de absorción (SAR), definida como la relación entre la potencia térmica absorbida y la densidad del tejido dañado, así como, la densidad de fuente de calor de microondas, parámetros clave para una terapia precisa. De esta primera etapa, se concluye que, se ha realizado el trabajo que cumple con las metas y objetivos en el tiempo planeado, lo que nos permitirá continuar con la siguiente etapa de la elaboración del prototipo definitivo.

Palabras claves— Prototipo, Diseño, Diagnóstico, Terapia de Cáncer por Microondas, Ablación, Ecuación de Biocalor

Abstract—The objective of this work consists in the development of a pilot prototype for oncological purposes, such as the diagnosis of tumors, microwave therapy and ablation of tumors in organs such as liver, lung, kidney, prostate and breast. The scope at present has been the design of the pieces that make up the prototype, which were made in solidworks and printed on a 3D computer, and the electronic circuits and interface are already designed and physically made to give functionality to the prototype.

Specialized software was used to model and simulate cancer therapy by means of microwaves and the ablation of a tumor in eight minutes of exposure, in order to know the precise parameters for these oncological purposes. From this, we obtained, for example, the field of temperature, radiation and absorption rate (SAR), defined as the ratio between the thermal power absorbed and the density of the damaged tissue, as well as the density of the heat source of microwaves, key parameters for a precise therapy. From this first stage, it

is concluded that the work that fulfills the goals and objectives in the planned time has been carried out, which will allow us to continue with the next stage of the elaboration of the definitive prototype.

Keywords— Prototype, Design, Diagnosis, Microwave Cancer Therapy, Ablation, Bioheat Equation

I. INTRODUCCIÓN

La elaboración de herramientas de impacto médico en el área de ingeniería mecatrónica, han venido impactando en el sector salud a través del tiempo, y, en las últimas décadas se han incrementado, allegando recursos cada vez más precisos, haciendo uso de automatización y control que permite evitar la exposición a la radiación a que está sujeto un cirujano-oncólogo que realiza esta función en forma manual en la ciudad de Chihuahua. Más aun, redundando en beneficio en pacientes afectados por tumores en órganos. Es por esto, que este trabajo se avoca a elaborar una herramienta que beneficie tanto a expertos que realizan actualmente funciones manuales en materia oncológica, como a pacientes con tejido dañado. Para ello, se ha elaborado un prototipo para diagnóstico de tumores para, posteriormente, elaborar un prototipo para terapia de cáncer mediante microondas o ablación en tumores en órganos [1]-[6], mediante un diseño de brazo mecánico controlado computacionalmente.

En el presente trabajo, se presenta parte del diseño solidworks del prototipo a través de un brazo-robot, y de vistas del prototipo armado.

La función del prototipo consiste en hacer uso de técnicas de terapia de coagulación [7]-[9] por microondas en oncología; así como ablación. En el área de oncología, se modela el campo electromagnético acoplado a la ecuación de biocalor, esto, con el objetivo de conocer los parámetros oncológicos que deberá incluir el brazo.

En el ámbito de la investigación clínica, algunas de las técnicas que han venido impactando, se refieren a dos de las técnicas de calentamiento: la radiofrecuencia [10], [5], y el calentamiento por microondas [1], [11]-[12], [2], [4]. La terapia de coagulación por microondas [7]-[8],[13] es una técnica en la que se inserta una antena delgada de

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc, Departamento de Metal-Mecánica, Av. Tecnológico 137, C.P. 31500, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

microondas en el tumor. Las microondas calientan el tumor, produciendo una región coagulada donde se mueren las células cancerosas.

Mediante software especializado¹, se efectuó previamente el modelado y simulación que permite calcular los parámetros ya mencionados, cuando se usa una antena de ranura coaxial delgada para la terapia de coagulación con microondas. La distribución de temperatura en el tejido es obtenida mediante la ecuación biocalor [7].

Entre los resultados relevantes para terapia a través de microondas que se espera obtener a través de la función ejercida por el cirujano oncólogo a pacientes, figuran la temperatura cerca de la antena, donde la fuente de calor es fuerte, y, lejos de la antena, donde la fuente de calor es más débil, la sangre logra mantener el tejido a temperatura corporal normal de 35°C. Para la densidad de fuente de calor de microondas se espera que tome sus valores más altos cerca de la punta y hendedura de la antena. Mientras que, para ablación, se esperan resultados del campo de temperatura en función del tiempo en la punta de los brazos de los electrodos de una sonda modelada y simulada como terminal médica (Figura 1 de sección II), así como resultados de la región de tejido necrosado.

II. MODELADO DE LA FUNCIÓN DEL PROTOTIPO

Para conocer los parámetros para dar terapia de cáncer mediante microondas, en esta sección se muestran ecuaciones que modelan el dominio y ecuaciones de frontera de transferencia de calor dependiente del tiempo, descrita mediante la ecuación de biocalor [7], [14], y algunas de las ecuaciones de frontera de electromagnetismo. Así, la ecuación de biocalor, es

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\kappa \nabla T) = \rho_b C_b \omega_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} \tag{1}$$

Donde, la fuente de calor externa es igual al calor resistivo generado por el campo electromagnético, viene dada por

$$Q_{ext} = \frac{1}{2} \text{Re} \left[(\sigma - j\omega\epsilon) \mathbf{E} \cdot \mathbf{E}^* \right] \tag{2}$$

Asumiendo campos armónicos en el tiempo con amplitudes complejas conteniendo la información de fase para una onda electromagnética propagándose en un cable coaxial mediante campos electromagnéticos transversos, una expresión es

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_r \frac{C}{r} e^{j(\omega t - \kappa z)} \tag{3}$$

Donde, la constante de propagación, es inversamente proporcional a la longitud de onda por

$$\kappa = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{4}$$

El problema de transferencia de calor estudiado aquí, modela el dominio del hígado. Usando aislamiento, el dominio es truncado a

$$\mathbf{n} \cdot \nabla T = 0 \tag{5}$$

El grado de lesión tisular durante el proceso, α , se basa en la ecuación de Arrhenius

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp \left(-\frac{dE}{RT} \right) \tag{6}$$

Así, la fracción de tejido necrótico, es

$$\theta_d = 1 - e^{-\alpha} \tag{7}$$

$\rho_b C_b \omega_b (T_b - T)$ es la fuente de la perfusión de la sangre y Q_{ext} es igual al calor resistivo generado por el campo

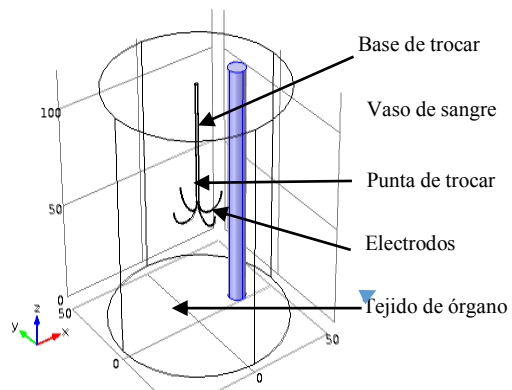


Figura 1 Geometría cilíndrica para ablación de un tumor. Tejido de órgano donde se ha insertado una sonda con cuatro electrodos resaltando al lado un vaso sanguíneo. Fuente: Comsol Multiphysics, Versión 4.4.0.248.

¹ COMSOL Multiphysics® Versión 4.4.0.248, 16 de abril de 2014 – 24 septiembre 2014 Curso de Comsol Multiphysics, Chihuahua, México. <https://www.comsol.com/product-download/4.4/windows>

electromagnético. Los términos del lado izquierdo de la (1) son el modelo del tejido biológico, y los del lado derecho, el modelo de biocalor [15].

Para ablación de tumores se hizo uso de una geometría de cilindro de tejido humano (Figura 1) al que se le aplica calor por conducción para quemar células cancerígenas. En este caso, se hace uso de la Ecuación de biocalor con $Q_{ext} = 0$.

A. Nomenclatura

En la Tabla I se muestra la nomenclatura usada en las ecuaciones del modelado.

TABLA I
NOMENCLATURA DEL MODELADO

A	Factor de frecuencia dependiente del tipo de tejido, s^{-1}
C_b	Capacidad calorífica específica de la sangre, $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$. $C_b = 3639\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
C_p	capacidad calorífica, $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
dE	Energía de activación para reacción de daño irreversible dependiente del tipo de tejido, $J\ mol^{-1}$
r	Coordenada cilíndrica centrada en el eje del cable coaxial de la antena, m
Q_{met}	Fuente de calor del metabolismo, $W\ m^{-3}$
Q_{ext}	Fuente de calor externa, $W\ m^{-3}$
T	temperatura en el tejido, K
T_b	temperatura de la sangre arterial, K, $T_b = 37\ ^\circ C$
z	Coordenada cilíndrica centrada en el eje del cable coaxial de la antena, m. Dirección de propagación de una onda electromagnética
Letras Griegas	
α	Grado de lesión tisular durante el proceso
κ	Constante de propagación de onda electromagnética, conductividad térmica del hígado, $W\ m^{-1}K^{-1}$
λ	Longitud de onda en el medio de propagación electromagnético, mm
ω	Frecuencia angular
ω_b	Tasa de perfusión de la sangre, s^{-1} , $\omega_b = 0.0036\ s^{-1}$
ρ	Densidad, $kg\ m^{-3}$
ρ_b	Densidad de la sangre, $kg\ m^{-3}$
σ	Conductividad eléctrica del hígado = $1.69\ S\ m^{-1}$
θ_d	Fracción de tejido necrótico

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presenta el diseño del prototipo piloto elaborado, y se describen los resultados logrados hasta el momento, del diseño electrónico y computacional para dar funcionalidad al prototipo. La Figura 2 muestra el diseño solidworks de algunas de las piezas de que consta el prototipo, mientras que la Figura 3 muestra el armado de algunas de las piezas del prototipo que fueron impresas en 3D. La Figura 4 muestra el isométrico exhibiendo sus piezas y su interior; en la Figura 5 se presenta el prototipo terminado. La Figura 6 presenta dos de las vistas del prototipo en proceso de patente (folio MX/E/2018/084064).

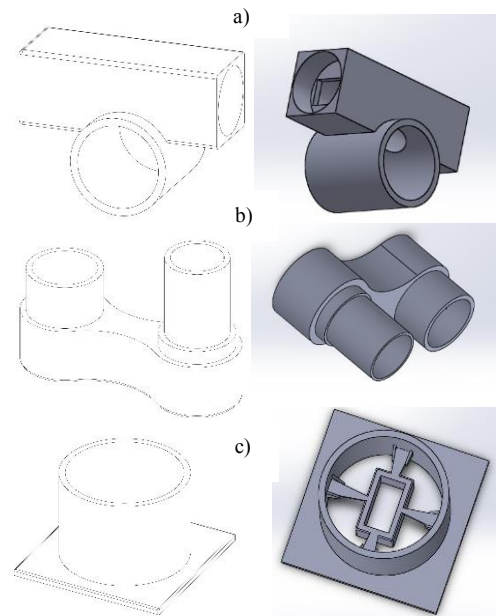


Figura 2 Algunas de las piezas que integran el diseño del prototipo: a) codo, b) cuerpo y c) base para motor.



Figura 3 Dos vistas del ensamble de algunas piezas del prototipo elaboradas en impresora 3D.

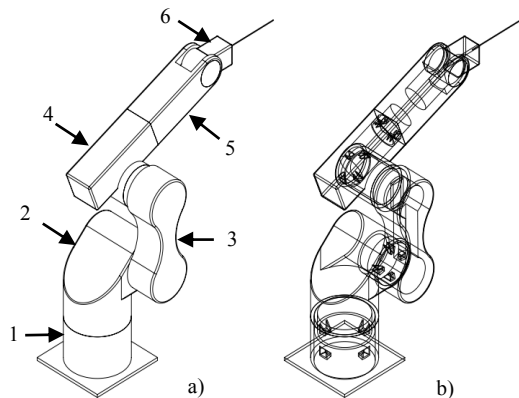


Figura 4 a) Vista isométrica del brazo-robot: 1 base, 2 hombro, 3 cuerpo móvil, 4 codo, 5 antebrazo y 6 mano y/o porta-herramientas. b) Vista interior.



Figura 5 Vista isométrica del brazo-robot sobre estructura y PC para su uso.

Los resultados obtenidos hasta esta etapa, constan de la elaboración del prototipo piloto para diagnóstico de tumores (Figura 5), al cual, se le pueden incluir terminales médicas para ablación (Figura 1) y para terapia de cáncer mediante microondas. Además, se concluyó con la simulación de terapia y ablación para conocer los parámetros que deben contener las terminales médicas respectivas. Del modelado y simulación, se espera tener resultados del campo de temperatura a través de los electrodos para ablación, así como la fracción de tejido necrosado a los 8 minutos de exposición del paciente. Para terapia mediante microondas se espera obtener el campo de temperatura y una distribución de temperaturas cerca y lejos de la antena. La Figura 7 muestra imágenes de la circuitería elaborada e interfaz para dar funcionalidad al prototipo.

En la Figura 7 a) se muestra el diseño electrónico en físico que contiene el circuito por donde circulan 12 volts administrando un impulso desde el arduino al transistor

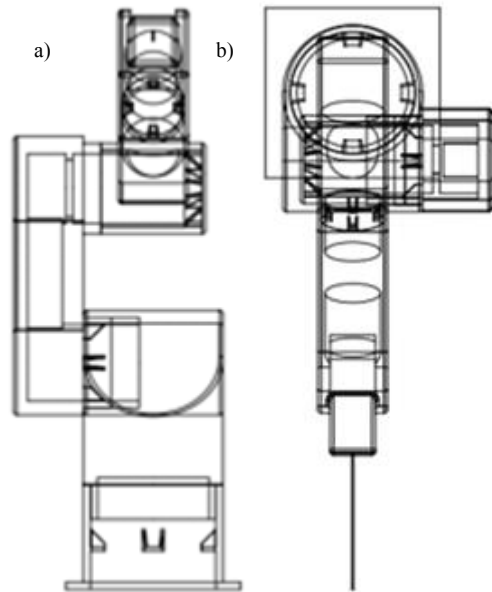


Figura 6 a) Vista frontal y b) vista inferior del prototipo de corte oncológico.

para que los motores no permanezcan siempre activos. El arduino hace una presión en un punto dado y permite el flujo integro de los 12 volts, lo que le permite el control total sobre la activación o desactivación de unos servomotores en cualquier instante. Estos motores servo, se insertan y aíslan en el interior del prototipo. Con esto, se realiza una conexión mediante un puerto serial, el cual permite controlar desde la interfaz gráfica al arduino y este a su vez hace que el circuito realice las acciones esperadas. El control de servomotores se realiza mediante botones en la interfaz gráfica, ya sea para que se mueva de un grado en un grado o a un ángulo en específico. Para el circuito, se usó un arduino uno, cuatro motores de corriente directa y un servomotor. Cada uno de estos está conectado a una fuente de voltaje y tierra. Al arduino virtual se le carga la dirección de la programación en formato .ino para que la simule; se recibe y envía información en el arduino y se asegura que la conexión se mantenga de forma estable (Figura 7 b)).

La Figura 7 b) muestra la configuración en proteus del puerto COM virtual. Estas instrucciones describen las conexiones seguras, y con la simulación se comprueba que se realizaran las funciones que se desea que ejecute el circuito real de la Figura 7 a) durante el proceso de movimiento del prototipo.

El elemento computacional comprende la programación de la interfaz realizada en Visual y la programación de arduino.

Para realizar la conexión entre el prototipo y la interfaz se usó cinemática inversa, para determinar el movimiento

de una cadena de articulaciones para lograr que un actuador final se ubique en una posición concreta en el espacio, todo ello, con la finalidad de aportar una herramienta precisa para que el experto realice diagnósticos con alta confiabilidad.

Con esto, se cumple con el objetivo de elaborar el prototipo piloto con fines oncológicos: diagnóstico en esta primera etapa y, en una segunda etapa continuaremos con la terapia mediante microondas o ablación de tumores en órganos del cuerpo humano en pacientes valorados por el cirujano oncólogo en la Cd. de Chihuahua, México, sustituyendo la función manual que el experto actualmente realiza.

Para este proyecto, se cuenta con una patente y dos desarrollos industriales en trámite con folio y número de expediente MX/E/2018/084064 y MX/a/2018/013841, MX/E/2018/084062 y MX/f/2018/003368, así como, MX/E/2018/088194 y MX/f/2018/003552, respectivamente, en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

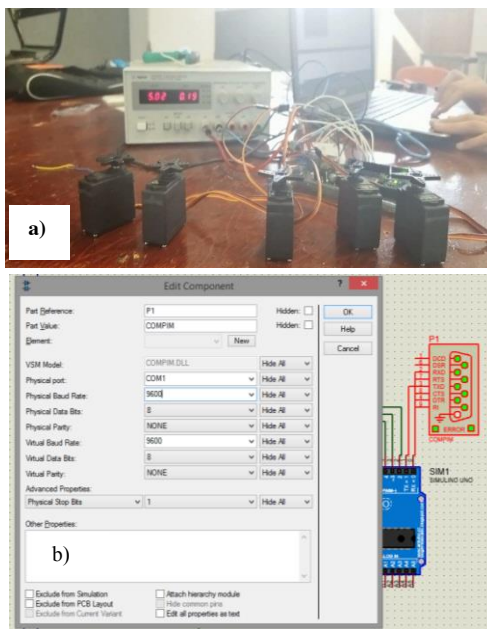


Figura 7 a) Circuito para el control de cinco motores servo desde una computadora e b) interfaz para asegurar conexión en forma estable para dar funcionalidad al prototipo.

IV. CONCLUSIONES

Se concluyó la primera etapa de este proyecto con la elaboración física de un prototipo piloto para diagnóstico, y con la simulación de terapia por microondas y ablación de tumores cancerígenos, obteniendo los parámetros que usaremos en las terminales médicas con fines oncológicos,

cumpliendo con ello el objetivo planteado. Ya revisado por el sector salud dicho prototipo, actualmente se trabaja en el diseño y elaboración del prototipo definitivo de impacto en dicho sector, el cual redundará en beneficio en pacientes afectados por tumores cancerígenos en órganos, así como el evitar la exposición del cirujano oncólogo a la radiación que se desprende de realizar esta función de forma manual, como actualmente se realiza en Chihuahua, México.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México el financiamiento de una parte de este proyecto: “Prototipo para terapia o ablación de cáncer mediante microondas” clave 6680.18-P. Asimismo, al Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico Córdova.

Agradecemos al Dr. Francisco Javier Miranda Castañón del Christus Muguerza Hospital del Parque en Chihuahua, México, por la asesoría brindada y a la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas por la vinculación con el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc.

VI. REFERENCIAS

- [1] Poulou, L. S.; Botsa, E.; Thanou, I.; Ziakas, P. D. y Thanos, L. (2015) “Percutaneous microwave ablation vs radiofrequency ablation in the treatment of hepatocellular carcinoma,” *World J Hepatol.*, 7(8), pp. 1054-63.
- [2] Lee, K. F.; Wong, J.; Hui, J. W.; Cheung, Y. S.; Chong C.C. y Fong A. K. et al. (2016) “Long-term outcomes of microwave versus radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma by surgical approach: A retrospective comparative study,” *Asian J Surg.*
- [3] Potretzke, T. A.; Ziemlewicz, T. J.; Hinshaw, J. L.; Lubner, M.G.; Wells, S. A. y Brace, C. L. et al. (2016) “Microwave versus Radiofrequency Ablation Treatment for Hepatocellular Carcinoma: A Comparison of Efficacy at a Single Center,” *J. of Vascular and Interventional Radiology*, 27 (5), pp. 631-8.
- [4] Santambrogio, R.; Chiang, J.; Barabino, M.; Meloni, F.M.; Bertolini, E. y Melchiorre, F. et al. (2016) “Comparison of Laparoscopic Microwave to Radiofrequency Ablation of Small Hepatocellular Carcinoma ($\leq 3\text{ cm}$),” *Ann Surg Oncol.*
- [5] Roberts, S. K. y Fazli, O. (2016) “Microwave ablation versus radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials,” *J. of Hepatol.*, 2(1).
- [6] Chinnaratha, M. A.; Chuang, M. Y.; Fraser, R. J.; Woodman, R. J. y Wigg A.J. (2016) “Percutaneous thermal ablation for primary hepatocellular carcinoma: A systematic review and metaanalysis,” *J Gastroenterol Hepatol.* 31(2), pp. 294-301.
- [7] Saito, K.; Taniguchi, T.; Yoshimura, H. e Ito, K. (2001) “Estimation of SAR Distribution of a Tip-Split Array Applicator for Microwave Coagulation Therapy Using the Finite Element Method,” *IEICE Trans. Electronics*, vol. E84-C, 7, pp. 948-954.
- [8] Ohmoto, K.; Yoshioka, N.; Tomiyama, Y.; Shibata, N.; Kawase, T. y Yoshida, K. et al. (2009) “Comparison of therapeutic effects between radiofrequency ablation and percutaneous microwave coagulation therapy for small hepatocellular carcinomas,” *J. Gastroenterol. Hepatol.* 24(2), pp. 223-7.
- [9] Shibata, T.; Iimuro, Y.; Yamamoto, Y.; Maetani, Y.; Ametani, F. y Itoh, K. et al. (2002) “Small hepatocellular carcinoma: comparison of radio-frequency ablation and percutaneous microwave coagulation therapy,” *Radiology*, 223(2) pp. 331-7.

- [10] Huo, Y. R. y Eslick, G. D. (2015) "Microwave Ablation Compared to Radiofrequency Ablation for Hepatic Lesions: A Meta-Analysis," *J. Vasc. Interv. Radiol.*, 26(8), pp.1139-46.
- [11] Yu, J.; Liang, P.; Yu, X.; Cheng, Z.; Han, Z. y Liu, F. (2016) "Comparison of cooled-probe microwave and radiofrequency ablation treatment in incipient hepatocellular carcinoma: A phase III randomized controlled trial with 6-year follow-up. *Journal of Clinical Oncology Conference*," vol. 34.
- [12] Seror, O. (2015) "Ablative therapies: Advantages and disadvantages of radiofrequency, cryotherapy, microwave and electroporation methods, or how to choose the right method for an individual patient? *Diagnostic and Interventional Imaging*," 96 (6), pp. 617-24.
- [13] Bala, M. M.; Riemsma, R. P.; Wolff, R. y Kleijnen, J. (2013) "Microwave coagulation for liver metastases," *Cochrane Database Syst Rev.*, (10).
- [14] Tsung, A.; Geller, D. A.; Sukato, D. C.; Sabbaghian, S. y Tohme, S. *J. y Steel y col.* (2014) "Hepatectomía robótica versus laparoscópica: una comparación emparejada," *Ann Surg.*, 259(3).
- [15] Bejan, A. (1993). *Heat Transfer*. New York: Wiley. Fuller, J. F.; Fuchs, E. F. y Roesler, K. J. (1988) "Influence of harmonics on power distribution system protection," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 3, pp. 549-557,

VII. BIOGRAFÍA



Corral-Bustamante R. Leticia. Nació en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua el 16 de marzo de 1959. Es Ingeniera Industrial Química egresada de Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua, México en 1981; Máster en Matemáticas por el CINVESTAV, México en 1997; Doctora en Ciencia de Materiales por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Unidad Chihuahua, Chihuahua, México en 2002 y tiene una Estancia Post-Doctoral en Ciencia de Materiales en el CIMAV Unidad Monterrey,

Monterrey, N. L., México en 2009. Es Máster en Astronomía y Astrofísica por la Universitat Internacional Valenciana, en Valencia, España en 2017.

Ella actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc, Cuauhtémoc, Chihuahua, México donde es Profesora Investigadora Titular C de Ens. Sup. Sus líneas de investigación de interés: Relatividad Numérica, Cosmología, Radioastronomía y Termofluidos.

La Dra. Corral fue miembro de 11 Comités Científicos de Evaluación de Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica y Tesis de Posgrado (CONACYT - TecNM) 2007-2013. Miembro de la International Research Conference (IRC) otorgado por el Technical Committee & Editorial Review Board on Physical and Mathematical Sciences de 44 países a partir del 10 de mayo de 2018.

Algunos premios de la Dra. Corral son:

1. The Best Presentation Award en Singapore, 5 de julio de 2018.
2. Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015 otorgado el 3 de febrero de 2017 por el Gobernador de Estado de Chihuahua, Lic. Javier Corral Jurado.
3. Premio Chihuahua 2013, Categoría Ciencias Tecnológicas, otorgado por el Gobernador de Chihuahua: César Duarte Jáquez y el Instituto Chihuahuense de la Cultura, las Ciencias y las Artes el 27/11/2013.
4. Chihuahuense Destacada 2009. Galarón a la Trayectoria Científica: "Dra. María Esther Orozco Orozco" otorgado por la Sexagésima Segunda Legislatura Constitucional del Honorable Congreso del Estado de Chihuahua.
5. Joseph Fourier Award en Roma, Italia el 25 de junio de 2009.
6. SNI I 2008-2011.



Andrea Aragonéz Aguirre. Nació el 17 de febrero de 1998 en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Actualmente está cursando el sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Egresada del Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No. 90 con especialidad en Informática y bachillerato Físico-Matemático con Dibujo técnico.

Hoy en día se encuentra dentro del proyecto "Prototipo para terapia o ablación de cáncer mediante microondas", proyecto aprobado por el Tecnológico Nacional de México en el mes de mayo del 2018.



Jorge Uriel Acosta Arévalo. Nació el 28 de febrero de 1998 en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Actualmente está cursando el sexto semestre de la carrera de ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Egresado del Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios #117 con especialidad en electrónica.

Hoy en día se encuentra dentro del proyecto "Prototipo para terapia o ablación de cáncer mediante microondas." en el cual se integró en el mes de septiembre del 2018, además de haber sido participante a nivel local del concurso de ciencias básicas logrando pasar al segundo desafío en equipo, equipo en el cual se obtuvo la mayor puntuación.



Parra Domínguez Irvin Eduardo. Nació en Cuauhtémoc, Chihuahua el 8 de febrero de 1998, curso la primaria en la escuela primaria Benito Juárez en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, del año 2004 al 2010, curso la secundaria en la escuela secundaria estatal Emiliano Zapata en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, del año 2010 al 2013, la preparatoria en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 117 en la

especialidad de electromecánica en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, del año 2013 al 2016, actualmente estudia en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc en ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México iniciando en el año 2016.

Actualmente estudia en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.



Andrea Jaquelyn Lam Bencomo. Nació el 28 de junio de 1998 en La Junta, Guerrero, Chihuahua, México. Actualmente está cursando el sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Egresada del Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No. 124 con especialidad en Informática y bachillerato Físico-Matemático con Dibujo técnico.

Hoy en día se encuentra dentro del proyecto "Prototipo para terapia o ablación de cáncer mediante microondas", proyecto aprobado por el Tecnológico Nacional de México en el mes de Mayo del 2018.

Implementación de un Sistema Remoto de Monitoreo y Registro de la Demanda y Consumo Eléctrico en Tiempo Real para un Sistema de Baja Tensión

V. E. Manqueros-Avilés¹, L.A González-Vargas², A.J. Cordero-Escamilla³
G.A. Torres Astorga⁴, J.G. Proo Pérez⁵

Resumen— Contar con un sistema supervisor de consumo eléctrico y de calidad de energía es fundamental para el buen funcionamiento de empresas, edificios, universidades, hospitales o cualquier institución que cuente con áreas críticas de funcionamiento. El sistema de monitoreo de energía nos entrega información del comportamiento actual de nuestra red eléctrica en un edificio del ITSL, lo cual nos ayuda a prever fallas que ocasionen el corte parcial o prolongado en áreas críticas, así mismo podemos mejorar nuestra red a partir de esta información; también nos ayuda a administrar mejor nuestras cargas y reducir costos de facturación. En este proyecto se realizó la instalación de transformadores de corriente en los alimentadores principales de los centros de carga los cuales están conectados a un analizador de redes AcuRev 2020 el cual procesa la información de los principales parámetros eléctricos y la envía mediante el protocolo Modbus a un sistema SCADA desarrollado en el software DAQFactory.

Las variables que se monitorean son Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, Potencia Real, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, energía. El medidor de la energía maneja interfaz RS-485 y el protocolo de comunicación Modbus Ethernet TCP/IP. El sistema SCADA se encarga de mostrarnos la información en tiempo real y guardarla para futuras consultas en archivos Excel; toda esta información la podemos consultar desde cualquier PC que este dentro de la red LAN y observar el comportamiento de las variables.

Palabras claves—Ethernet TC/IP, DAQFactory, Factor de Potencia, Monitoreo, Modbus, potencia, sistema supervisorio.

Abstract— Having a supervisory system of electrical consumption and quality of energy is fundamental for the proper functioning of companies, buildings, universities, hospitals or any institution that has critical areas of operation. The energy monitoring system gives us information about the current behavior of our electricity network which helps us to anticipate faults that cause partial or prolonged cutting in critical areas, and we can improve our network based on this information; It also helps us to better manage our burdens and reduce billing costs.

In this project the installation of current transformers in the main feeders of the load centers was carried out, which are distributed by an AcuRev 2020 network analyzer, the process

of the information of the main services provided and the shipment by means of the Modbus protocol to a SCADA System. developed in the DAQFactory software.

The variables that are monitored are: Voltage, Current, Power Factor, Real Power, Reactive Power, Apparent Power, Energy. The energy meter manages the RS-485 interface and the Ethernet Modbus TCP / IP communication protocol. The SCADA system is responsible for displaying the information in real time and saving it for future queries in Excel files; all this information can be consulted from any PC that is within the LAN network and observe the behavior of the variables.

Keywords— Ethernet TCP / IP, DAQFactory, Power Factor, Monitoring, Modbus, power, supervisory system.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es la reducción de la potencia y energía eléctrica demandada en la red sin que afecte a las actividades normales realizadas en un edificio, industria o proceso de transformación. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden desear ahorrar energía para reducir costos energéticos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medio ambiental de la generación de energía eléctrica [1].

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El uso eficiente de la energía, constituye uno de los factores que encaminan a las naciones hacia el crecimiento económico y el desarrollo sostenible [2].

no hay otro segmento individual de una industria tan importante como la potencia, ya que sin la potencia el sistema de producción completo deja de funcionar. A pesar de esto, el tema de la medición, control, análisis y administración de la calidad de la energía es visto por muchos como un trabajo de ingeniería difícil y complejo. En la actualidad muchas industrias y compañías, trabajan

^{1,2,3}Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.
emanqueros@itslerdo.edu.mx, lvargas@itslerdo.edu.mx
acordero@itslerdo.edu.mx

de manera proactiva con monitoreo continuo de la calidad de energía para detectar fuentes de perturbaciones y condiciones de fallo en la red, antes de que las consecuencias sean graves y muy costosas. Estos analizadores de calidad de energía poseen gran capacidad de análisis, por lo que dan grandes oportunidades de trabajar con estadísticas y tendencias de una manera preventiva y predictiva.

El presente proyecto busca solucionar los inconvenientes presentados en la demanda de energía, brindando un prototipo de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos de forma remota, el cual ayudará en la detección de transitorios de corriente, así como en los consumos de potencias de las cargas instaladas que se encuentren en el edificio D del ITSL

Este prototipo está conformado por:

- Hardware: medidor de calidad de la energía y Transformadores de corriente
- Software SCADA

Este sistema de monitoreo emite un reporte histórico diario con los valores instantáneos minútales de las diferentes variables medidas. Estos valores se presentan en forma de gráfica, para una interpretación rápida y sencilla. Asimismo, el sistema genera una lista de eventos para identificar con exactitud la fecha y hora exacta en que se presentó algún problema en la red eléctrica.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El sistema de monitoreo de la calidad de la energía permite vigilar, de manera continua, el comportamiento de la red eléctrica. Con ello se pueden detectar y prevenir, de manera oportuna, diferentes problemas asociados con la operación del sistema eléctrico, específicamente en el SEP del edificio D del ITSL.

El procesamiento digital de las señales y los algoritmos para el cálculo de los parámetros eléctricos forman parte integral del analizador de redes AcuRev 2020, por lo que estas funciones avanzadas nos ahorran la programación de las ecuaciones que rigen la calidad de la energía, se trabajó en el direccionamiento de las variables requeridas mediante programación estableciendo la dirección Modbus de cada una de ellas.

Las variables monitoreadas son las siguientes:

- Voltaje en Fases A, B y C (Volts).
- Corriente en Fases A, B y C (Amperes).
- Potencia en Fases A, B y C (kW).
- Potencia Reactiva en Fases A, B y C (kVAR)
- Factor de Potencia en Fases A, B y C.
- Distorsión armónica de corriente en Fases A, B y C.
- Distorsión armónica de voltaje en Fases A, B y C.
- Consumo (kWh).
- Frecuencia (Hz).

A. Equipo de Medición de Energía Eléctrica AcuRev Serie 2000

Este analizador de energía puede medir energía multi-circuito, monitorear potencia, energía, demanda y tarifa horaria en aplicaciones de alta concentración (Hasta 18 circuitos monofásicos o 6 circuitos trifásicos). Es un equipo robusto, posee comunicación mediante Modbus vía RS485, Modbus vía Ethernet TCP/IP.



Figura 1. Medidor AcuRev 2020 con dos módulos de expansión

B. Características del analizador de energía

- Cumple estándares de medición IEC y ANSI
- Cumple con el estándar de medición IEC 62053-22.
- Admite hasta 18 canales de medición individuales para medición de energía.
- Posee funciones avanzadas de análisis de calidad de energía para cada circuito.
- Su Capacidad de registrar datos permite el análisis de tendencias históricas.
- Disponibilidad de múltiples puertos de comunicación y protocolos para monitoreo local y remoto.
- Fuente de alimentación desde 100 a 415 Vac.

TABLA I
ESPECIFICACIONES DE LAS MEDICIONES

Parámetro	Precisión ± (%)	Rango
KWh	0.5%	0~999999.9kwh
V	0.5%	10 ~ 400V
I	0.5%	5mA ~ 10000A
P	0.5%	4000.0 kW
Q	0.5%	4000.0 kvar
S	0.5%	4000.0 kVA
FP	0.5%	-1.000 ~ 1.000

Frecuencia	0.2%	45 ~ 65 Hz
Potencia Activa Demandada	0.5%	4000.0 kW
Corriente Demandada	0.5%	5mA ~ 10000A
Harmónicos	1%	0 ~ 100%

C. Diagrama Eléctrico con Montaje de Transformadores Bipartidos Flexibles.

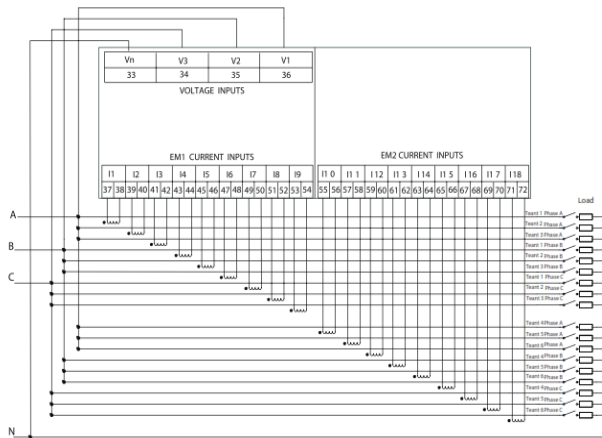


Figura 2. Diagrama de Conexión con dos Módulos EM

Es importante para la representación del modelo eléctrico hacer un diagrama unifilar para la distribución de cargas del edificio en el acurev 2020 , para esto se tomó como referencia la distribución de los transformadores flexibles bipartidos en las líneas de alimentación del edificio D de acuerdo al manual del fabricante, como se muestra en la figura 2 .

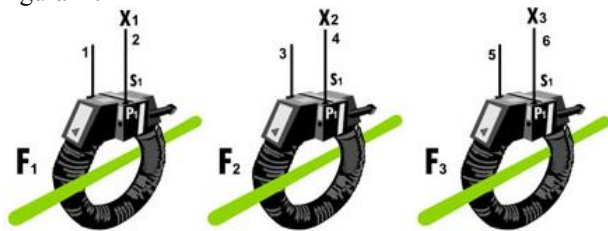


Figura 3 Transformadores bipartidos flexibles

En conexiones trifásicas los Transformadores bipartidos flexibles deben instalarse manteniendo el orden, ejemplo; si orientó P₁ hacia la carga en un transformador, los otros dos deben tener la misma orientación, es decir estar del mismo lado. En conexiones monofásicas no hay reglas.

Características:

- Aislamiento para 0.6Kv uso interior
- Operación en 50-60 Hz.
- Precisión 1%
- Salida única a 0-333 mVCA

Los transformadores flexibles instalados en esta fase del proyecto para monitorear las variables eléctricas con el AcuRev 2020 en las cargas del edificio fueron los siguientes con las capacidades correspondientes. Cabe mencionar que previamente ya se habían instalado algunos puntos de medición con un AcuRev 2010, la descripción detallada se muestra en la tabla 2 (por motivos de espacio solo se muestra el mapeo de los puntos de medición del AcuRev 2020).

- 24 Transformadores Bipartidos MAPREIME RICHTIG de 40 Amperes.
- 3 Transformadores Bipartidos MAPREIME RICHTIG de 600 Amperes.



Figura 4. Transformadores flexibles de 40 Amps instalados



Figura 5. Transformadores flexibles de 600 Amps instalados

TABLA 2
MAPEO DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

Punto:	Medidor:	Punto a Medir:	Transformador
1	2020	LA-Alimentación Principal.	600 Amp.
2	2020	LB-Alimentación Principal.	600 Amp.
3	2020	LC-Alimentación Principal.	600 Amp.
4	2020	LA-Aires Planta Alta.	600 Amp.
5	2020	LB-Aires Planta Alta.	600 Amp.
6	2020	LC-Aires Planta Alta.	600 Amp.

7	2020	LA-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
8	2020	LB-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
9	2020	LC-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
10	2020	LA-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
11	2020	LB-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
12	2020	LC-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
13	2020	LA-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
14	2020	LB-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
15	2020	LC-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
16	2020	LA-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.
17	2020	LB-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.
18	2020	LC-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.

específicamente por medio de los medidores energéticos AcuRev 2020, figura 4. Aquí se ve el diagrama y las distribuciones de cada fase con su respectivo canal y transformador donde van los interruptores termomagnéticos. Es decir, la fase a esta conformada por los niveles 1,4,7 y en el módulo de expansión son los niveles 10, 13 y 16 los cuales alimentan a la medición principal y los aparatos de aire acondicionado de los cubiculos.

La fase B está constituida por los canales 2, 5, 8 y en el módulo de expansión los canales 11, 14 y 17 los cuales alimentan los aparatos de aire acondicionado en la planta baja del edificio y aires acondicionados del audiovisual_1 respectivamente.

La fase C está constituida por los canales 3,6,9 y en el módulo de expansión 12,15 y 18 los cuales alimentan el alumbrado de los cubiculos en la planta alta del edificio y los aires acondicionados del audiovisual_2.

TABLA 3
DIRECCIONES MODBUS DEL ACUREV 2020

Parámetro	Dirección Modbus	Tipo de Medición
Frecuencia	8192	Lectura
Voltaje Fase A	8194	Lectura
Voltaje Fase B	8196	Lectura
Voltaje Fase C	8198	Lectura
Voltaje Promedio	8200	Lectura
Corriente Fase A	8448	Lectura
Corriente Fase B	8484	Lectura
Corriente Fase C	8520	Lectura
Factor de Potencia Fase A	8456	Lectura
Factor de Potencia Fase B	8492	Lectura
Factor de Potencia Fase C	8528	Lectura
Potencia Instantánea Fase A	8450	Lectura
Potencia Instantánea Fase B	8486	Lectura
Potencia Instantánea Fase C	8522	Lectura
Potencia Reactiva Fase A	8452	Lectura
Potencia Reactiva Fase B	8488	Lectura
Potencia Reactiva Fase C	8524	Lectura
Potencia Aparente Fase A	8454	Lectura
Potencia Aparente Fase B	8490	Lectura
Potencia Aparente Fase C	8526	Lectura

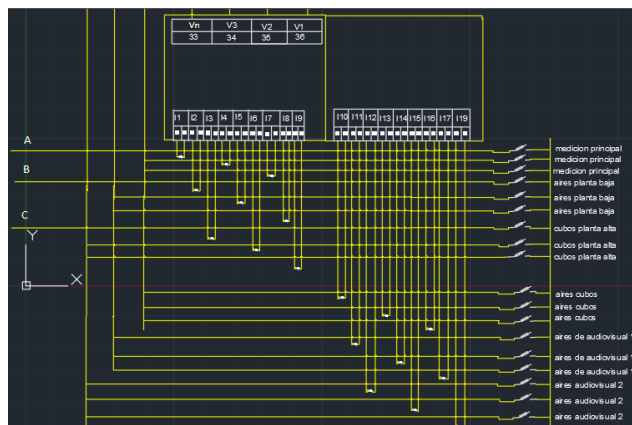


Figura 4 Diagrama unifilar de distribución de cargas y los transformadores bipartidos flexibles para el AcuRev 2020

el principal objetivo es analizar los parámetros energéticos para esto fue necesario hacer un diagrama de la red,

Energía Consumida Fase A	9480	Lectura/Escritura
Energía Consumida Fase B	9486	Lectura/Escritura
Energía Consumida Fase C	9492	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase A	11016	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase B	11022	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase C	11026	Lectura/Escritura

En la tabla 3 se muestran algunas direcciones Modbus para lectura de los parámetros eléctricos y de calidad de la energía que se mostraran en una interfaz SCADA desarrollada con el software DAQFactory.



Figura 5. Vista del Medidor Terminado de Cablear.

Una vez se finalizó con el cableado, se hizo una conexión para probar que no existieran problemas con la energización del medidor y la obtención de lecturas.



Figura 6. Medidor AcuRev2020 en pruebas



Figura 7. Medidor AcuRev2020 Instalado



Figura 8. Vista de Transformador Bipartido Montado en Línea Principal



Figura 9. Centro de carga principal con transformadores de corriente bipartidos instalados

III. RESULTADOS

D.- Interfaz de Usuario en DAQFactory

Se desarrolló una interfaz humana máquina (HMI) para la visualización de los parámetros eléctricos, gráficas, alarmas e históricos. Éstos serán de gran utilidad para la prevención y corrección de errores.



Figura 10. Menú de inicio HMI



Figura 11. Menú de gráficas

Para una mejor interpretación de los datos dio lugar a dividir la interfaz en dos una que nos proporcione información sobre la línea principal y la otra que nos permita visualizar los equipos que están siendo utilizados y poder analizar su comportamiento.

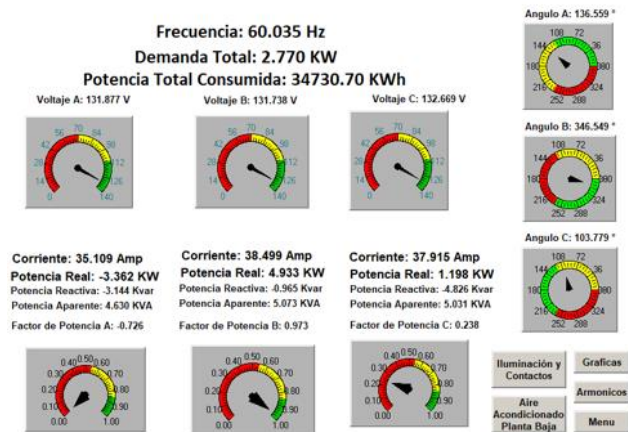


Figura 12. Consumo general en el centro de carga principal

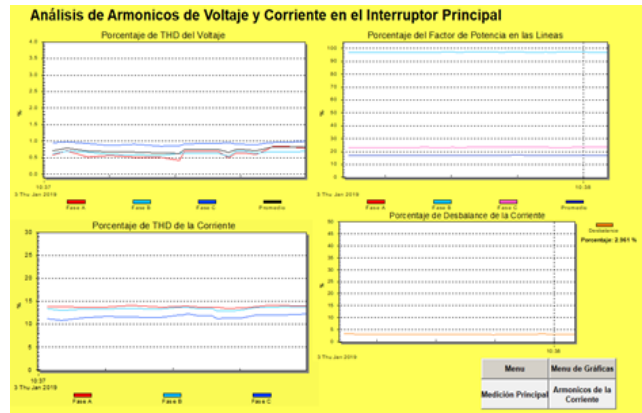


Figura 13. Vista de parámetros de calidad de la energía (THD, FP, Desbalance de corriente)

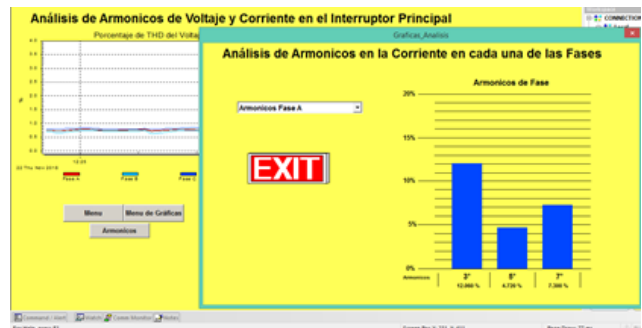


Figura 12. Grafica de armónicos en pestaña emergente

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La versatilidad y funcionalidad del sistema de monitoreo que se implementó en este proyecto, se comprobó mediante una comparación con un analizador de redes portátil, es decir, entrega los mismos datos que el sistema desarrollado, pero sin la ventaja de poder monitorear remotamente desde cualquier sitio y momento.

Se diseñó un sistema de monitoreo remoto de parámetros eléctricos que permite supervisar y llevar un control del comportamiento de la energía que es suministrada a un edificio del ITSL.

Con el prototipo desarrollado se pretende implementar un sistema de mantenimiento proactivo, el cual permitirá observar cómo llega la alimentación eléctrica a cada equipo y de esta manera monitorear los inconvenientes que puedan presentarse en las líneas de alimentación, con el fin de corregirlo para alargar la vida útil de los dispositivos y llevar un mejor control de la demanda.

El sistema desarrollado permite monitorear remotamente los parámetros eléctricos desde una computadora, para el cual se desarrolló una interfaz de usuario con el software DAQFactory. La comunicación de los equipos se realizó mediante el protocolo normalizado MODBUS TCP-IP

V. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología en el Estado de Durango COCyTED, ya que gracias a su apoyo fue posible la realización de este trabajo. También, agradecemos a la Subdirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por las facilidades brindadas.

VI. REFERENCIAS

- [1] Simple indicators for an effective Power Quality monitoring and analysis, Ignatova, V. Schneider Electr., Grenoble, France Villard, D.; Hypolite, J.-M. June 2015, ISBN: 978-14799-7992-9
- [2] Gómez, G. A., Carreño, J. C., & Zambrano Caviedes, J. (2011). Herramienta de software para el pronóstico de demanda horaria de potencia eléctrica en el sistema eléctrico de codensa S.A. ESP. Revista Tecnura, 15(28).
- [3] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, (2003) "Electrical Power Systems Quality", (2a ed.), Editorial McGraw-Hill.
- [4] A.E. Emanuel, (1993), "Apparent and reactive power in three phases systems in search of physical meaning and a better resolution" ETEP-Eur. Trans. Elect. Power Eng., Vol. 3, No 1, pp: 7-14.
- [5] AcuRev 2000 Smart Metering System. User's Manual
- [6] Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159 ISBN 1-55 937-549-3, 1995.
- [7] Aquilino, R.P (2007). "Sistemas SCADA", Notas de diseño, Normativa, Seguridad y comunicaciones industriales 2nd ed. Barcelona España: Marcombo, Ediciones Técnicas

VII. BIOGRAFÍA



M.C. Víctor Edi Manqueros-Avilés: nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001, Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango. Actualmente trabaja como docente e investigador en el Instituto Tecnológico

Superior de Lerdo, dentro de la división de posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 9 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.



Luis Amado. González-Vargas: nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo, Dgo. 2007. Recibió el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2010. Él ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de

la calidad de la energía en distintas empresas, sus áreas de interés incluyen

sistemas de potencia en régimen no senoidal y sistemas de control distribuido. Actualmente es profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.



M.I. Armando José Cordero-Escamilla. Nació el 14 de Julio de 1975 en San Luis Potosí, Mex Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en el Instituto Tecnológico de Durango en 1998. Posteriormente logró la Maestría en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad, en 2008. Ha cursado diplomados en Gestión de Tecnología, Habilidades

Gerenciales y Sistemas Fotovoltaicos. Actualmente se desempeña como Profesor de Carrera de Enseñanza Superior Titular A, impartiendo clases en las carreras de Ingeniería Electromecánica, Electrónica y Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en el estado de Durango. También colabora en el área de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la misma Institución, al participar en proyectos vinculados con empresas de la región y Centros de investigación nacionales. Las áreas de interés son: térmica, hidráulica, energías renovables y procesos industriales, entre otras. El M.I. Cordero ha recibido el Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación Durango en dos ocasiones, 2012 y 2017, en el área de Desarrollo Industrial, por parte del Gobierno del Estado.



Torres Astorga Gerardo Alfonso. Nació el 23 de enero de 1996 en Durango, Mex. Obtuvo su título de Técnico en Combustión Interna en el Bachillerato Técnico Industrial de la Laguna el 2014. Posteriormente logró la titulación de Ingeniero Electromecánico en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo el 2018.

Actualmente, se desempeña como Técnico Mecánico, enfocado al área de mantenimiento de unidades en Autobuses Periféricos, en el estado de Durango. Las áreas de interés son: eléctrica, diseño asistido por computadora, hidráulica, sistemas mecánicos con motores diésel, entre otros.



Proo Pérez José Gerardo. Nació el 1 de marzo de 1996 en Torreón, Coahuila, México. Concluyó con sus estudios de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en 2018.

Actualmente trabajando en el desarrollo de su tesis para obtener el título de Ingeniero Electromecánico en la misma institución en la cual llevo a cabo su proyecto de residencia profesional en Ahorro de Energía Eléctrica y Térmica, colaborando en el área de Investigación y Desarrollo de la institución. Las áreas de interés son: eléctrica, energías renovables, ahorro de energía, Instrumentación, mecánica, hidráulica y cuestiones del ámbito social y humanitario, entre otras.

Modelado, Simulación y Desarrollo de un Sistema Eólico de Baja Potencia.

A. Linares-Enríquez¹, J. Gervacio-De Jesus¹.

Resumen—En la actualidad el uso de energías renovables es una alternativa eficiente, como apoyo a la reducción de contaminación generada por la utilización de combustibles fósiles, que nos ha traído como consecuencia el aumento de temperatura en el planeta o calentamiento global, por lo cual se propone el modelado y la simulación para generar un sistema renovable a partir de un mecanismo que transforme a energía eléctrica, aprovechando las corrientes del viento, determinando la potencia útil, con base al modelado se analiza el sistema multiplicador, la velocidad angular y el torque, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador de imanes permanentes, un sistema electrónico de control para el monitoreo de parámetros eléctricos a entregar y la conversión de energía eléctrica, para su aprovechamiento en un inmueble, tomando como beneficio las condiciones en las que fluye el viento en intervalos de hasta 12 m/s, por ende se desarrolla la simulación para analizar un prototipo de un sistema eólico de baja potencia, considerando la parte mecánica, eléctrica y hasta el control, sin embargo se deben monitorear, controlar y analizar los parámetros, para cuando excedan los valores preestablecidos se cuente con instrumentos para su estabilización, monitoreo y control.

Palabras claves—Eléctrica, Energía, Eólica, Multiplicador, Renovables.

Abstract— The present use of renewable energy It is an efficient alternative, as support at reduction of the pollution generated for the use of fossil fuels, what has brought us as a consequence the increase in temperature on the planet or the heating global, so modeling is proposed and the simulation to generate a renewable system based on a mechanism that transforms electrical energy, taking advantage of the currents of the wind, determining the useful power, with based on modeling, the multiplier system is analyzed, angular velocity and torque, converting mechanical energy into electrical energy through a permanent magnet generator, an electronic control system for the monitoring of electrical parameters to be delivered and the conversion of electric power, for its use in a building, taking as a benefit the conditions in which the wind flows at intervals of up to 12 m / s, therefore is developed the simulation to analyze a prototype of a low power wind system, considering the mechanical part, electrical and up to control, however they must be monitored, control and analyze the parameters, for when they exceed pre-established values there are instruments for their stabilization, monitoring and control.

Keywords— Electric, Energy, Wind, Multiplier, Renewable.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es hoy en día una de las tecnologías renovables más competitivas y nos brinda los mayores beneficios y posibilidades. Su empleo produce impactos en el medio ambiente y a su vez tiene poca afectación por los cambios que provoca a su entorno. Un aerogenerador convierte la energía mecánica en energía eléctrica a través de la energía cinética del sistema. Los parámetros a seleccionar dependerán de la potencia que es necesaria en el lugar de la instalación y el consumo de energía kWh.

Actualmente cerca del 82% del total de la energía eléctrica se genera por medio de combustibles fósiles, 6% se genera en plantas nucleares y el 12% restante se genera por medio de fuentes renovables como hidroeléctricas, eólicas, biomasa, fotovoltaica, geotérmica y termo solar. Para el caso de México la energía eléctrica se produce en un 93% mediante combustibles fósiles, 3% mediante fuentes nucleares y el 4% restante mediante fuentes alternativas de energía tales como la eólica.

De acuerdo al estudio sobre el potencial eólico, México cuenta con un potencial eólico superior a los 50GW. Esto de acuerdo a lo que comenta el estudio de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) y otras entidades, en el plan integral de desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018 [1].

La producción de energía eléctrica generada por el viento en un determinado sitio depende de diferentes variables como la velocidad del viento, por lo que la propuesta del sistema eólico es para bajas velocidades de viento con un valor máximo de 12 m/s, que es un viento moderado, además de las características de las aspas y el sistema mecánico para transformar a energía eléctrica, se cuenta dentro del diseño el análisis en el tren de engranajes para la relación de velocidades y las características de funcionamiento entre potencia, velocidad angular y torque. Los parámetros a seleccionar dependerán de la potencia eléctrica que es necesaria en el lugar de la instalación y el consumo de energía kWh que se establezca, por lo que es

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, Santiago Tlalapa, C.P. 52650, Santiago Tianguistenco, Estado de México, México.

* alejandro.linares@test.edu.mx.

importante obtener el máximo rendimiento de la potencia en los sistemas eléctricos.

En el desarrollo del proyecto se realiza el análisis de los componentes del aerogenerador dentro del diseño, se realiza la simulación del comportamiento mecánico, para pasar al modelo eléctrico, con el desarrollo se obtiene el modelo del sistema a través de la simulación Lab-Volt y el equipo para la realización de pruebas del generador de imanes permanentes, donde se establecen las variables que intervienen en la transformación de parámetros, para establecer las características del sistema eólico.

Los sistemas aislados de generación de energía eléctrica a través de la eólica, se utilizan para alimentar cargas específicas como puede ser una carga para el sector residencial o comercial de ahí la importancia del desarrollo del proyecto.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El presente trabajo desarrolla el diseño y modelado de los elementos de un aerogenerador de baja potencia, está basado en la parte de innovación tecnológica en el campo de la energía eólica aprovechando los vientos moderados en la región, particularmente en el desarrollar sistemas de energía eólica para la obtención de energía eléctrica.

Estos sistemas por lo general están compuestos por el rotor, multiplicador, freno, generador, cola, torre, cableado, controladores y las baterías, como se muestra en la simulación que permite predecir el comportamiento del sistema de acuerdo a la figura 1. Donde a través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador. La energía disponible del viento es básicamente la energía cinética de las masas de aire moviéndose sobre la superficie de la tierra.

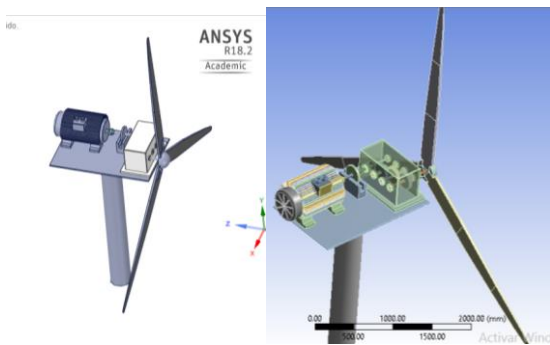


Figura 1. Componentes de un Aerogenerador. Elaboración propia.

Se analiza el diseño del sistema para transmitir la potencia requerida con la selección de cada uno de los componentes, con la finalidad de diseñar los elementos para soportar los esfuerzos y las deformaciones, donde es necesario saber las fuerzas aplicadas. Si estas se transmiten mediante engranes, considerando los requisitos de potencia y par de torsión, las

especificaciones de los engranes, el diseño de ejes, la selección de cojinetes, tren de engranes, entre otros elementos para el análisis final del sistema.

Para determinar el modelado y simulación del sistema de energía eólica de baja potencia establecemos la capacidad del sistema de tal forma que se comporte de la manera que se desea, al diseñar se debe tener la capacidad de predecir su comportamiento a partir del conocimiento de los componentes y las características de funcionamiento [2].

Modelo y Simulación del Sistema Aerodinámico.

La energía cinética del aire moviéndose a una velocidad v está dada por la ecuación (1):

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Considerando un rotor con un área seccional A expuesta a una ráfaga de aire, la energía cinética para una turbina será:

$$E_c = \frac{1}{2}\rho_a v^2 \quad (2)$$

La potencia disponible de aire está dada por la ecuación (2), donde una turbina no puede extraer esta potencia completamente del viento. Esta eficiencia es llamada comúnmente como coeficiente de potencia C_p , dando:

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho_a A_T v^3} \quad (3)$$

Una turbina eólica no es capaz de extraer la potencia total que se encuentra en una masa de aire, sino que solo es capaz de extraer una fracción de está. Mediante la ley de la conservación de la masa, el flujo de la masa de aire debe ser igual en todo el tubo de flujo y el gasto másico constante, por lo cual:

$$\dot{m} = \rho_a A_1 V_1 = \rho_a A V_w = \rho_a A_2 V_2 \quad (4)$$

Donde la variación de la energía cinética del viento por unidad de tiempo es:

$$P_{util} = \frac{d(E_c)}{dt} = \frac{1}{2}\rho_a A V_w (V_1^2 - V_2^2) = \rho_a A V_w^2 (V_1 - V_2) \quad (5)$$

Estableciendo que la potencia útil máxima que proporciona el rotor considera el coeficiente de potencia que se conoce como el límite teórico de Betz, no es mayor al 59.5%. [3].

En el análisis del aerogenerador para vientos moderados, el intervalo de velocidad en el aerogenerador debe ser de 3m/s a 15 m/s, por lo que aplicando la aerodinámica sobre la hélice, tenemos una carga de:

$$P = \frac{C_d \cdot \rho \cdot V^2}{2} \quad (5)$$

Por lo tanto, al sustituir los valores con una velocidad media al intervalo igual a 12 m/s tenemos una presión del aire sobre la hélice de $P = 4.32 \frac{N}{m^2} = 4.32 Pa$. Con este resultado se realizaron los diseños de las palas del sistema eólico que captaran las corrientes de viento para dar funcionamiento al sistema y el mallado de análisis del sistema, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Pala del aerogenerador. Elaboración propia.

Modelo y Simulación Sistema Mecánico.

Dentro del diseño el movimiento de rotación es importante para el análisis del sistema eólico, por lo que el análisis del movimiento rotacional considerando la velocidad angular w , la aceleración angular α y el par T , que depende de la fuerza aplicada, de la distancia entre el eje de rotación y la línea de acción de la fuerza.

La ley de Newton de rotación considera la relación entre el par aplicado y su aceleración angular resultante y establece los momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor del eje, la ecuación es:

$$\Sigma T = J \alpha = J \frac{dw}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (6)$$

Donde J es la inercia, α es la aceleración angular, T es el par, w es la velocidad angular, θ es el desplazamiento angular [4-5].

Si se tiene un par constante en el movimiento rotacional, la potencia está dada por:

$$P = T w \quad (7)$$

Para el diseño de la transmisión de potencia, esta debe considerando los requisitos de potencia, las especificaciones de engranes, el diseño del eje, el análisis de fuerzas, la selección de cojinetes y el análisis final dentro del diseño para obtener el sistema real [4-5].

Un tren de engranes es un dispositivo mecánico que transmite energía desde una parte del sistema a otro, de tal forma que se alteran las relaciones entre los pares T_1 y T_2 , los desplazamientos angulares θ_1 y θ_2 , los radios r_1 y r_2 , las velocidades angulares w_1 y w_2 y los números de dientes N_1 y N_2 del tren de engranes, deben ser consideradas para realizar el análisis de los engranes. De esta manera, que se obtienen las siguientes relaciones del sistema de engranes:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} = N \quad (8)$$

La potencia disponible en la turbina es la potencia de entrada y se encuentra a partir de:

$$P_{util} = P_w C_p = \frac{1}{2} C_p \rho_a A V_w^3 \quad (9)$$

La potencia que extrae la turbina eólica, se puede ver de acuerdo a la ecuación (7).

Para el análisis del modelo dinámico es importante considerar el movimiento de rotación y del tren de engranes, que se muestra en la figura 3, donde el modelo se analiza con los elementos que se encargan de transmitir la energía del eje de baja velocidad hasta el eje de alta velocidad.

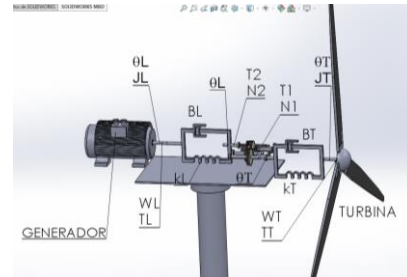


Figura 3. Modelo Dinámico. Elaboración propia.

De acuerdo a la segunda ley de Newton para el movimiento rotacional, se tiene:

$$\Sigma T = J \dot{\omega} \quad (10)$$

Para el eje de baja velocidad, es decir, para el eje de la turbina se tiene:

$$T_T - B_T \frac{d(\theta_T)}{dt} - k_T \theta_T - T_1 = J_T \frac{d^2\theta_T}{dt^2} \quad (11)$$

Para el eje de alta velocidad, es decir, para el eje de la carga se tiene:

$$T_2 - B_L \frac{d(\theta_L)}{dt} - k_L \theta_L - T_L = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} \quad (12)$$

Igualando las ecuaciones para T_2 , se obtiene:

$$\frac{T_T}{N} = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{J_T}{N} \frac{d^2\theta_T}{dt^2} + B_L \frac{d(\theta_L)}{dt} + \frac{B_T}{N} \frac{d(\theta_T)}{dt} + k_L \theta_L + \frac{k_T}{N} \theta_T + T_L \quad (13)$$

Agruparse términos, se obtiene:

$$\frac{T_T}{N} = J_L \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{J_T}{N^2} \frac{d^2\theta_L}{dt^2} + \frac{d(\theta_L)}{dt} \left(B_L + \frac{B_T}{N^2} \right) + \theta_L \left(k_L + \frac{k_T}{N^2} \right) + T_L \quad (14)$$

El modelo obtenido es un sistema existente con tres elementos como parámetros a controlar. Se puede analizar el sistema equivalente obteniendo el modelo en variables de estado, al apoyarse en la ley de Newton para el movimiento rotacional, $\Sigma T = J \dot{\omega}$

El sistema equivalente se obtiene con las relaciones obtenidas y se tiene:

$$\frac{J_T}{N^2} \dot{\omega}_E = \frac{T_T}{N} - B_e \omega_E + B_e \omega_L - k_e \theta_e \quad (15)$$

$$J_L \dot{\omega}_L = B_e \omega_E - B_e \omega_L - k_e \theta_e - T_L \quad (16)$$

Al despejar $\dot{\omega}_E$ y $\dot{\omega}_L$ de 15 y 16 se tiene:

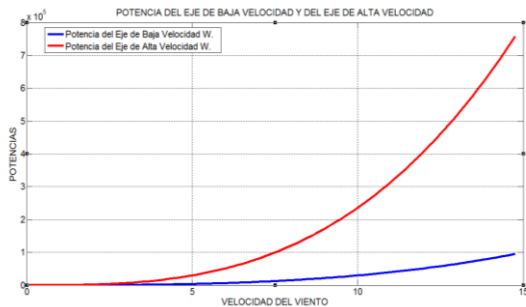
$$\dot{\omega}_E = - \frac{B_e N^2}{J_T} \omega_{Te} + \frac{B_e N^2}{J_T} \omega_L - \frac{k_e N^2}{J_T} \theta_e + \frac{T_T N}{J_T} \quad (17)$$

$$\dot{\omega}_L = \frac{B_e}{J_L} \omega_{Te} - \frac{B_e}{J_L} \omega_L + \frac{k_e}{J_L} \theta_e + \frac{T_T}{N J_L} \quad (18)$$

$$Y \dot{\theta}_e = \omega_E - \omega_L \quad (19)$$

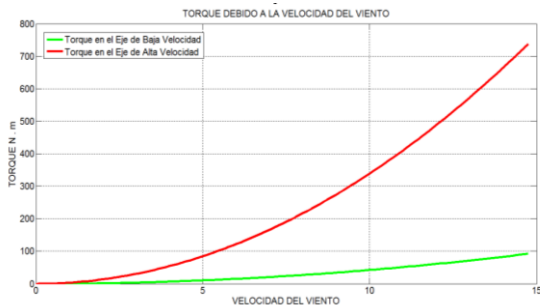
El modelo representa el sistema dinámico del sistema eólico en variables de estado. En el cual al analizar el torque se obtiene el esfuerzo cortante con los parámetros del sistema mecánico [6-7]. En el caso del aerogenerador desarrollado se estableció una relación de diseño de 1 a 8 para la transmisión de la potencia.

En la gráfica 1, se muestra el comportamiento de la potencia mecánica, la potencia de salida es la que se transmitirá al generador eléctrico para su aprovechamiento. De esta manera para una potencia de 5kW la velocidad del viento está en el orden de los 6 a 9 m/s. Con esta potencia, se garantiza el correcto funcionamiento del consumo de energía, generando un abastecimiento de 12 kWh al día, con un consumo promedio de 360 kWh al mes.



Gráfica 1. Potencia de los ejes del sistema. Elaboración propia.

Con el análisis del sistema mecánico podemos conocer el comportamiento de la velocidad angular, la potencia y el torque. Asimismo, se debe tener el funcionamiento adecuado para lograr controlar tanto el torque como los demás parámetros en el sistema, como se muestra en la gráfica 2, donde el torque está en el intervalo de 90 N-m a 720 N-m.



Gráfica 2. Torque en el eje de baja y alta velocidad. Elaboración propia.

En la figura 4 se muestran el sistema de engranajes desarrollo del sistema, estableciendo la relación del tren de engranajes. Además, se desarrolla el análisis de elemento finito con el mallado de ejes y engranes, como se muestra en la figura 5, estableciendo de acuerdo a la geometría, el comportamiento mecánico, en el cual al desarrollar el mallado y simular cargas aplicadas, el obtiene que cada

soporta las condiciones de esfuerzo y deformación, que transformará las condiciones de operación para correcto funcionamiento del sistema eólico [8-9].

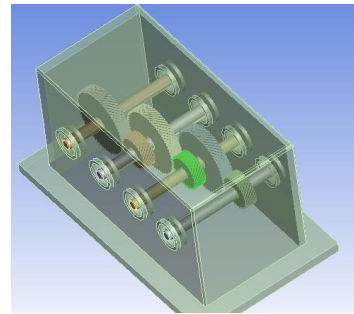


Figura 4. Sistema Mecánico relación 8 a 1. Elaboración propia.

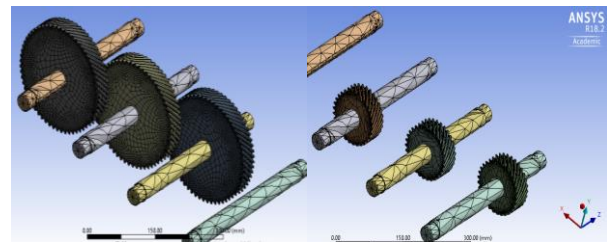


Figura 5. Análisis Sistema Mecánico. Elaboración propia.

Se analiza y determina el modelo del sistema mecánico, desde la parte aerodinámica, para pasar a su modelo dinámico, se analizan las ecuaciones de energía cinética y potencial definiendo las variables que intervienen en el sistema mecánico. Con estas variables determinamos los parámetros de intervendrán que son la velocidad angular y la potencia útil del sistema, además de los parámetros de diseño que son el torque y el esfuerzo.

Modelo y Simulación Sistema Eléctrico.

Se analiza los circuitos del rotor y estator del GSIP, en coordenadas de fase abc, recordando que dichos ejes se encuentran espaciados 120 grados eléctricos, las transformaciones matemáticas son usadas para desacoplar variables y, por tanto, facilitar la solución de ecuaciones complejas con coeficientes variables en el tiempo, en el modelo eléctrico se analiza el cambio de energía mecánica a eléctrica para el generador del sistema eólico, como se muestra en la figura 6 [10].

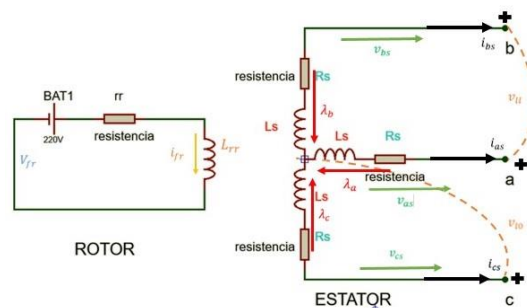


Figura 6. Generador Síncrono de Imanes Permanentes. [2].

Donde

a, b, c. representan los devanados de fase del estator.
i, v, rs, λ, Corriente, Voltaje, Resistencia y enlace de flujo.

En los GSIP los voltajes de fase del estator se obtienen aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff al circuito en el generador síncrono de imanes permanentes.

$$V = -R_e I + \frac{d\Lambda}{dt} \quad (20)$$

Donde la expresión matricial es:

$$\begin{aligned} V &= [v_{as} \ v_{bs} \ v_{cs}]^T \\ R_e &= \text{diag} [r_s, r_s, r_s] \\ I &= [i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}]^T \\ \Lambda &= [\lambda_a \ \lambda_b \ \lambda_c]^T \end{aligned} \quad (21)$$

Los enlaces de flujo en cada fase a b c se determinan por la influencia de la corriente que circula en su respectiva fase y por los enlaces de flujo producidos por los imanes permanentes. Así se tiene que la matriz de enlaces de flujo adquiere la siguiente forma:

$$\Lambda = L_s I + \lambda_m \quad (22)$$

El modelo eléctrico está compuesto por dos ecuaciones diferenciales básicas. La primera de ellas es la relación entre la tensión en las terminales de la bobina y la corriente en ella:

$$V = (-R * I) - \left(\frac{dL(\theta)}{dt} * I\right) - (L(\theta) * \frac{dI}{dt}) \quad (23)$$

La segunda es la relación del par en el eje y la variación magnética:

$$T_g = \frac{1}{2} * I^T * \frac{dL(\theta)}{dt} * I \quad (24)$$

En ambas ecuaciones se ve reflejada la dinámica de cualquier máquina eléctrica. Pero las inductancias mutuas y propias, dependen del ángulo girando el eje (θ), y este sufre una variación constante.

La potencia eléctrica es:

$$P_E = N_e N_p P_{util} \quad (25)$$

Donde:

Ne = Eficiencia eléctrica.

Np = Eficiencia mecánica.

Pútil = Potencia útil.

La potencia eléctrica se obtiene de la potencia útil del sistema eólico como se muestra en la figura 7 [11-12], teniendo la potencia eléctrica como:

$$P_E = \frac{1}{2} C_p \rho_a A V_w^3 N_e N_p \quad (26)$$

Se analiza la transformación de Park, la cual convierte las variables del estator trifásico en un nuevo marco de referencia que se mueve con el rotor, cuando la velocidad angular w es constante, podemos analizar estas ecuaciones al definir la matriz de transformación de Park considerando un estator no rotacional y un rotor rotacional T como:

$$T = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\text{sen} \theta & -\text{sen}(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\text{sen}(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (27)$$

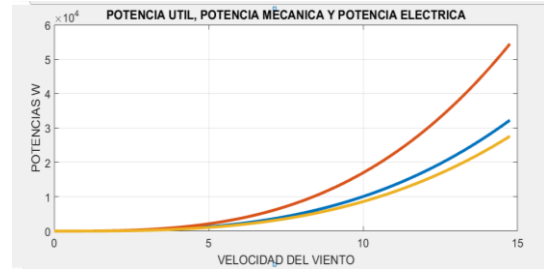


Figura 7. Potencias del Aerogenerador. Elaboración propia.

Debido a que en coordenadas de fase presenta las inductancias que varían con respecto al ángulo θ, que es el ángulo de referencia rotacional y este varía con respecto del tiempo, se utiliza la transformada de Park, donde la transformada está basada en la proyección de los valores de tensión y corriente de los ejes y transformándolos en un eje dinámico de referencia de las tensiones y corrientes como se muestra en la figura 8 [13].

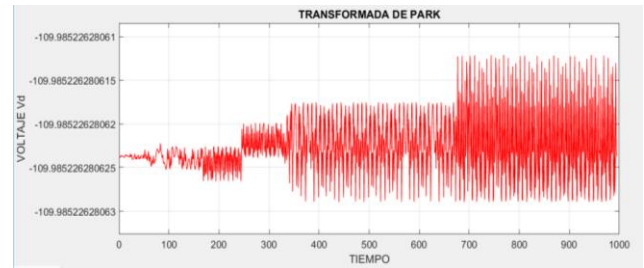


Figura 8. Generador Eléctrico, Park. Elaboración propia.

III. RESULTADOS

En el sistema eólico la modelación y simulación de sistemas permite desarrollar modelos virtuales y experimentar en forma dinámica con ellos, lo que facilita identificar, cuantificar las variables y parámetros a analizar, permite analizar el comportamiento bajo condiciones de operación.

La simulación permite predecir el comportamiento de sistemas, diseñar y operar los sistemas de ingeniería, donde se analiza el sistema eólico en sus condiciones de funcionamiento y se divide en varias etapas. Formulación de la simulación, Definición del sistema eólico, Modelado del Sistema, Desarrollo de la simulación, Verificación y Validación, Diseño de Prototipo y Ensayos.

Con estos resultados se desarrolló el sistema aerodinámico y el sistema mecánico del sistema eólico del prototipo para pruebas de funcionamiento, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Desarrollo de Prototipo del Sistema Eólico. Elaboración Propia.

Para el sistema eléctrico se realizaron las pruebas a través del simulador virtual Lab-Volt que es un laboratorio tridimensional, las características del generador alternador, jaula de ardilla o generador de imanes permanentes a considerar para el sistema eólico, el cual es alimentado en esta prueba por un dínamo de cuatro cuadrantes o fuente de alimentación, considerado como el simulador de la velocidad del viento en sus diferentes valores y estableciendo el comportamiento del sistema eléctrico dentro del sistema eólico, en la figura 10.

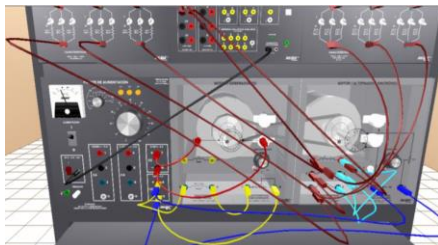


Figura 10. Simulación LAB-VOLT del Generador Eléctrico para el Aerogenerador. Elaboración Propia.

Con el equipo se establece la conexión y el funcionamiento de los componentes del sistema eólico para el generador eléctrico, en estas pruebas se determina el comportamiento de la corriente, el voltaje, la potencia y el torque eléctrico, estableciendo que se obtiene en la pantalla valores de velocidad y potencia eléctrica, que pueden ser variadas para el análisis desarrollado, como se muestra en la figura 11.



Figura 11 Pruebas del Sistema Eléctrico del Aerogenerador. Elaboración Propia.

Además, con la simulación del convertidor de corriente se desarrolló la construcción del inversor de voltaje que utiliza circuitos electrónicos para hacer que el flujo de la corriente continua cambie de dirección de forma periódica

haciéndola similar a la corriente alterna. El inversor además emplea una serie de filtros para hacer que estos cambios de dirección sean suaves y regulares de forma que la energía eléctrica resultante puede ser usada en la mayoría de dispositivos eléctricos, los componente para la obtención de valores de entrada de 12 volts, este valor será el que nos entregue el generador y salida del convertidor de 220 volts entre fases, los cuales alimentaran equipos para esta capacidad, en la figura 12 se muestra el sistema del convertidor con una salida de 220 volts entre fases y 127 volts para fase neutro.

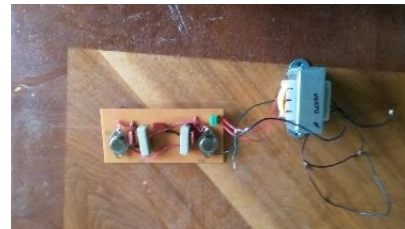


Figura 12. Modelo del Convertidor Eléctrico del Aerogenerador. Elaboración Propia.

IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La simulación del sistema eólico permite establecer los elementos de análisis en su parte aerodinámica y mecánica para conocer las variables que serán importantes en la transformación de energía mecánica a energía eléctrica y las variables a considerar como son el voltaje, la corriente, la potencia y el flujo de energía.

El desarrollo del análisis mecánico y eléctrico que permiten establecer los parámetros y las variables del sistema, siendo de suma importancia los elementos de diseño y la ingeniería para conocer todas las características que hacen funcionar, mover y estructurar al aerogenerador para la generación de energía.

El proyecto establece, desarrolla y muestra la importancia del diseño, la simulación y la implementación dentro de la ingeniería para los sistemas eólicos, por lo que los resultados obtenidos demuestran el funcionamiento y la operación del aerogenerador.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco el apoyo para el desarrollo del proyecto de Sistema Eólico de Baja Potencia.

VI. REFERENCIAS

- [1]. PwC en colaboración con Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF), *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018* Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo.
- [2]. Linares, E A. y Rea, C. E. (2018), *Handbooks Ciencias de la Ingeniería y Tecnología T-VIII, Capítulo 6, Modelo, Simulación y Control del Sistema Eléctrico y Electrónico de un Sistema Eólico de Baja Potencia*, Ecofan México.

- [3]. Garduño, R. R.; Sánchez, P. M. y Hernández, G. R. (2012), *Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica de Sistema del Control de Aerogeneradores*, Boletín IIE, Abril – Junio -2012.
- [4]. Richard, G. B. y Keith, N. J. (2012), *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*, Ed. Mc Graw Hill, 9na Edición.
- [5]. Ferdinand, P. B. y Russell, J. E. Jr. (2004) *Mecánica de Materiales*, Tercera edición, Mc Grall Hill.
- [6]. Norman, S. N. (2006) *Sistemas de Control para Ingeniería*, Tercera Edición, Editorial Continental.
- [7]. Linares, E. A. (2015), *Revista Ideas en Ciencia*, Año 24, No. 43, Pag. 53 a 68.
- [8]. Ansys, Inc. *Manual ANSYS 18.2*, 2017.
- [9]. Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT USER'S GUIDE*, Release 13.0, November 2010.
- [10] López, M. V. (2012) *Ingeniería de la Energía Eólica*, 1ra. Edición, Alfaomega.
- [11]. William, B. (2013), *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en la ingeniería Mecánica y Eléctrica*, editorial Alfaomega, quinta edición.
- [12]. Reyes, C. F. (2012), *Matlab, Aplicado a la Robótica y Mecatrónica*, Editorial Alfa Omega.
- [13]. Pino, B. E. y Matía, E. F. (2012), *Fundamentos de Control con MATLAB*. Ed. Pearson.

VII. BIOGRAFÍA



Alejandro Linares Enríquez. Nacido en la Ciudad de México, el 10 de Julio de 1973, Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX en 1999, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec en 2015.

Trabajo de 1997 a 2003 en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. CONAE. en la empresa Soluciones y Aplicaciones en Energía en Ingeniería SA de CV de 2004 a 2015, como Jefe de Proyectos y Capacitación, Docente de Asignatura en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco de 2003 a 2015, a partir de 2015 es profesor-investigador de tiempo completo del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, cuenta con investigaciones, publicaciones en revistas y capítulos de libro en las líneas de investigación de “Automatización y Control” y “Análisis, Diseño, Modelado y Simulación de Sistemas”. ORCID - 0000-0002-2250-0730.



Gervacio de Jesús Jesús, Nacido en Tlalnepantla el 5 de Junio de 1994, Egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México.

Egresado para la obtención de grado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México.
Participo en los eventos de ENEIT en el año 2016 y Feria Nacional de Ciencias e Ingenierías en el año 2017.

Validación de una Red Eléctrica Pasiva Operada como Circuito Integrador.

A. Rodríguez Franco¹, J. A. Flores Ávila¹, C. U. Flores Prince²

Resumen— En este trabajo se presenta una red eléctrica con dos elementos pasivos que, bajo ciertas condiciones, opera como un bloque integrador de señales de voltaje. Se pretende que los interesados en las áreas de matemáticas encuentren en este documento una realización teórica pero fácilmente validable de manera física. Así mismo, se tiene el propósito de que los interesados en instrumentación electrónica, eléctrica y mecatrónica, verifiquen aspectos teóricos de una manera rápida. Para la red eléctrica en cuestión se propone una restricción para que pueda integrar. Se emplean cuatro señales periódicas que son comunes en el área de instrumentación electrónica como señales de prueba: entradas de voltaje senoidales, cuadradas, triangulares y tren de impulsos. Las mediciones en el laboratorio muestran resultados positivos en cuanto a la integración.

Palabras claves— Escalón, frecuencia de corte, impulso, integrador.

Abstract— In this work, an electrical network with two passive elements capable of operating as an integrating block of voltage signals is presented. It is intended that people interested in the areas of mathematics find in this document a theoretical realization but easily validated in a physical way. Likewise, it is intended that people interested in electronic, electrical and mechatronic instrumentation, verify theoretical aspects in a fast manner. For the electricity network in question, a restriction is proposed so that it can be integrated. Four popular periodic signals are used in the area of electronic instrumentation as test signals: sinusoidal, square, triangular and impulse train inputs. The measurements in the laboratory show positive results in terms of integration.

Keywords— Cutting frequency, impulse, integrator, step.

1,2 Tecnológico Nacional de México,
1 Instituto Tecnológico de la Laguna,
2 Instituto Tecnológico Superior de Lerdo,
Comarca Lagunera, Estados de Coahuila y Durango, México.
abel.r.f@hotmail.com, cidde2010@gmail.com, cufprince@yahoo.com.mx.

I. INTRODUCCIÓN

En la figura 1 se muestra la red eléctrica que se va a estudiar.

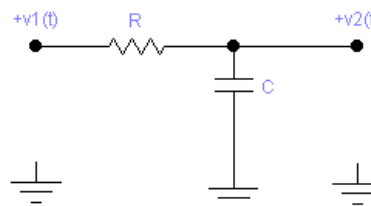


Figura 1. Diagrama de la red eléctrica en el dominio del tiempo.

Donde:

- $v_1(t)$ Señal del voltaje de entrada en el dominio del tiempo.
- $v_2(t)$ Señal del voltaje de salida en el dominio del tiempo.
- C Capacitor en Faradios
- R Resistor en Ohms.

En la figura 2 se ilustra la misma red eléctrica cambiando de dominio de estudio t por el dominio s .

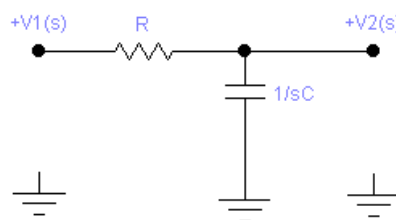


Figura 2. Diagrama de la red eléctrica en términos de la transformada de Laplace.

Donde:

- $\frac{1}{sC}$ Impedancia del Capacitor C , unidades en Ohms.
- R Impedancia del Resistor R , unidades en Ohms.
- FDT Función de Transferencia $G(s)$.

La Función de Transferencia (FDT) de un sistema lineal general está dada por la siguiente función de s :

$$G(s) = \frac{\text{Transformada de Laplace de } v_2(t)}{\text{Transformada de Laplace de } v_1(t)} \text{ Cond. Inic. Cero}$$

Para obtener la FDT del circuito en estudio se le trata como un divisor de tensión según [2], observar la siguiente función.

$$V_2(s) = \frac{V_1(s) \cdot \left(\frac{1}{s \cdot C}\right)}{\frac{1}{s \cdot C} + R}$$

Planteando la razón salida entre entrada en el dominio "s", se obtiene la FDT del sistema lineal propuesto; ver figura 3.

$$G(s) = \frac{1}{1+R \cdot C \cdot s} \text{ FDT del Sistema Propuesto.}$$

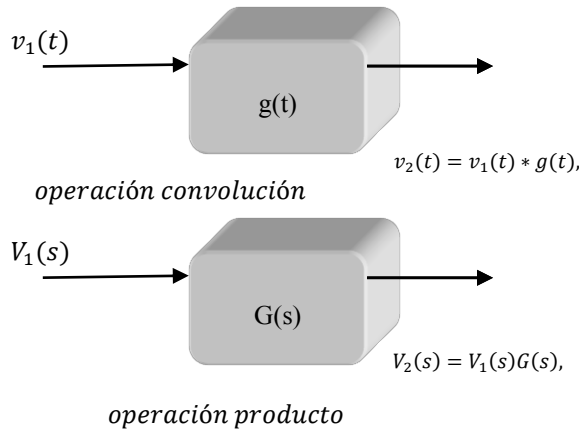


Figura 3. Diagrama a bloques del circuito en el dominio t y en el dominio s.

Para estudiar la respuesta a la frecuencia del sistema lineal se hace $s = j\omega$. Se considera como entrada un voltaje senoidal cuya frecuencia sea ω rad/seg y una amplitud pico de $|v_1|$ volts.

Sabemos que el voltaje de salida en estado estacionario, será también senoidal, con la misma frecuencia ω rad/seg, pero modificada en amplitud y fase o posición angular respecto a la señal de entrada [1].

Forma rectangular de la FDT evaluada en la frecuencia dada en rad/seg.

$$G(j\omega) = \frac{1}{R \cdot C \cdot j\omega + 1} = (\text{Re}(G(j\omega))) + j \cdot \text{Im}(G(j\omega))$$

Forma polar de la FDT evaluada en la frecuencia en rad/seg.

$$G(j\omega) = |G(j\omega)| \text{ángulo}(G(j\omega))$$

Donde:

$|G(j\omega)|$ Magnitud de la FDT para la frecuencia ω
 $\text{ángulo}(G(j\omega))$ Ángulo de la FDT para la frecuencia ω

La magnitud de la FDT está dada por la función:

$$|G(j\omega)| = \frac{|1|}{|R \cdot C \cdot j\omega + 1|} = \frac{1}{\sqrt{(R \cdot C \cdot \omega)^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{(R \cdot C \cdot \omega)^2 + 1}}$$

El ángulo de la FDT está dado por la función:

$$\text{ángulo}(G(j\omega)) = \text{ángulo}(1) - \text{ángulo}(1 + jRC\omega)$$

$$\text{ángulo}(G(j\omega)) = \tan^{-1}\left(\frac{0}{1}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{RC\omega}{1}\right)$$

$$\text{ángulo}(G(j\omega)) = 0 - \tan^{-1}\left(\frac{RC\omega}{1}\right)$$

En la figura 4 se presenta el comportamiento del sistema eléctrico en función de la frecuencia.

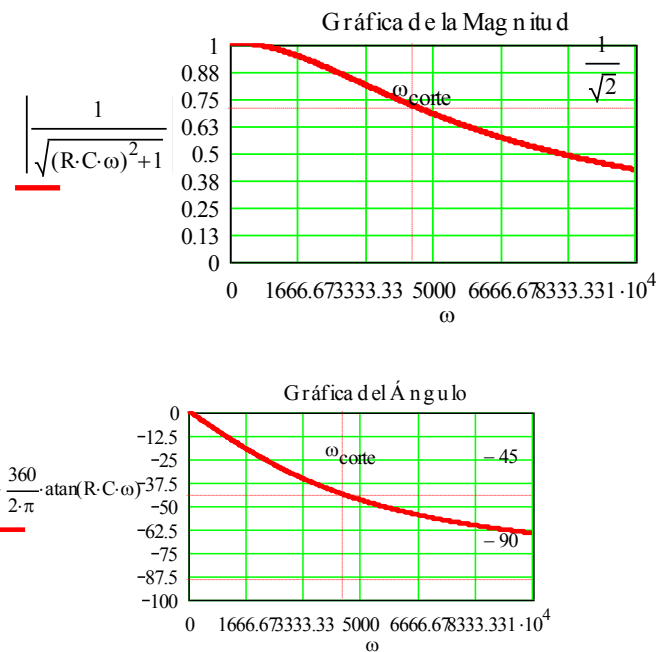


Figura 4. Comportamiento de la FDT considerando entrada senoidal y variando la frecuencia.

Observando el comportamiento de la magnitud, se distingue que la red estudiada es un filtro pasa-bajas, y observando el comportamiento del ángulo, se aprecia que es una red de atraso.

La frecuencia de corte está dada para cuando la magnitud de la FDT sea:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

Así mismo, la frecuencia de corte se cumple cuando el ángulo sea:

$$\frac{-\pi}{4} \text{ rad} = -45^\circ$$

Entonces el valor de la frecuencia de corte se encuentra si se hace:

$$\omega_{corte} = \frac{1}{R \cdot C}$$

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Ahora restringiendo como señales de entrada, aquellas que cumplan que sean periódicas y de una frecuencia mucho mayor que la frecuencia de corte; dicho esto simbólicamente $\omega \gg \omega_{corte}$, entonces la función de transferencia se puede aproximar a la siguiente expresión:

$$G(s) = \frac{1}{1 + RCs} \approx G(s) = \frac{1}{RCs}$$

$$\frac{\widehat{V}_2(s)}{\widehat{V}_1(s)} = G(s) = \frac{1}{RCs}$$

Despejando la salida se obtiene:

$$\widehat{V}_2(s) = \frac{1}{RC} \frac{\widehat{V}_1(s)}{s}$$

Luego, aplicando la propiedad de la transformada de Laplace que propone que si una función V(s) se divide entre un factor s de multiplicidad “n” equivale en el tiempo a que se tenga la integral n-ésima de la señal temporal [4]. Es decir, se obtiene lo que se pretende demostrar; en otras palabras, se encuentra la expresión (1) que muestra la obtención de la integral de una señal de voltaje.

$$v_2(t) = \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t v_1(\tau) d\tau \quad (1)$$

La ecuación (1) es válida si la frecuencia de la señal de entrada cumple la restricción dada por la desigualdad (2).

$$\omega \gg \frac{1}{RC} \quad (2)$$

III. RESULTADOS

VALIDACIÓN 1. Entrada senoidal periódica.

Considerando como parámetros R=1000 ohms, C=0.22μF y como entrada una señal de voltaje senoidal de 4√2 volts pico, con un off set de 0 V, a una frecuencia de 8,000 Hz. Probando si cumple restricción de frecuencia:

$$\frac{1}{R \cdot C} = 4.545 \times 10^3 \text{ rad/seg}$$

Convirtiéndolo a Hz serían:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 723.43 \text{ Hz}$$

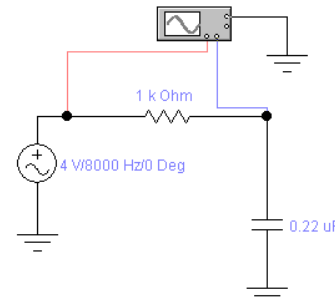
Es decir, la frecuencia de corte es de 723.432 Hz.

Si se alimenta una señal senoidal con frecuencia de 8,000 Hz, se observa que sí cumple la restricción ya que 8,000Hz >> 723.432Hz y la red eléctrica sí integrará, luego se procede a expresar la salida como:

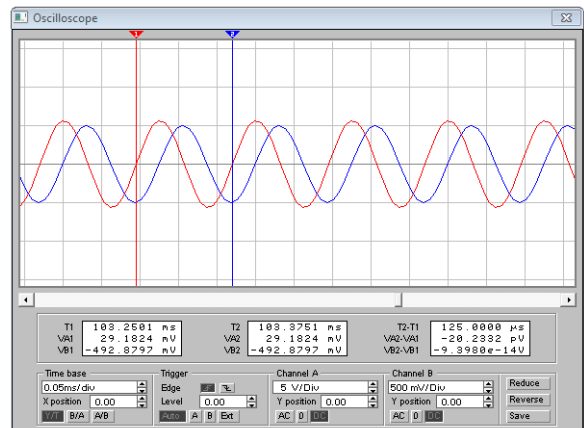
$$v_2(t) := \frac{1}{R \cdot C} \int 4\sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 8000 t) dt$$

Lo cual, con los valores asignados, produce un valor teórico del voltaje de salida. Realizando la prueba en el laboratorio se obtienen los resultados ilustrados en la figura 5.

$$v_2(t) := -0.512 \sin(16000t)$$



(a) Circuito de prueba indicando equipo de excitación y medición.



(b) Señales de voltaje de entrada y salida.

Figura 5. Circuito de prueba y mediciones para una entrada senoidal.

Nótese que la señal de entrada muestra un valor pico de $4\sqrt{2} = 5.65'$ Volts y la señal de salida muestra un valor pico cercano a 0.5 Volt. La entrada es un seno y la salida es un menos coseno, tal y como se predijo teóricamente.

VALIDACIÓN 2. Entrada cuadrada periódica.

Considerando como parámetros $R=1000$ ohms, $C=0.22\mu F$ y como entrada una señal de voltaje cuadrada de 5 volts pico, a una frecuencia de 8,000 Hz.

Probando si cumple restricción de frecuencia:

$$\frac{1}{R \cdot C} = 4.54 \times 10^3 \text{ rad/seg}$$

Convirtiéndolo a Hz serían:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 723.43 \text{ Hz}$$

Es decir, la frecuencia de corte es de 723.432 Hz. Si se alimenta una señal cuadrada con frecuencia de 8,000 Hz, se observa que sí cumple la restricción ya que $8,000\text{Hz} \gg 723.432\text{Hz}$ y la red eléctrica sí integrará, luego se procede a expresar la salida como:

$$v_2(t) := \frac{1}{R \cdot C} \int_0^t v_1(t) dt$$

La entrada se puede representar como una sumatoria de escalones unitarios recorridos referidos en la expresión (3).

$$\begin{aligned} v_1(t) &= 5 \left(\phi(t) - \phi\left(t - \frac{T}{2}\right) + \phi\left(t - 2\frac{T}{2}\right) - \phi\left(t - 3\frac{T}{2}\right) + \dots \right) \\ &= 5 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \phi\left(t - n\frac{T}{2}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

Recalcando que T es el periodo de la señal a alimentar y es igual a $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8000}$ en segundos. Donde $\phi(t)$ se define como un voltaje escalón unitario es decir:

$$\Phi(t) := \begin{cases} 1 & \text{if } t \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Recordando que la integral de una señal escalón produce una señal rampa. Simbólicamente esta operación se expresa según la ecuación (4):

$$rampa(t) = \int escalón(t) dt \tag{4}$$

De manera similar, la integral de un escalón recorrido produce una rampa recorrida, ver expresión (5):

$$rampa\left(t - n\frac{T}{2}\right) = \int \phi\left(t - n\frac{T}{2}\right) dt \tag{5}$$

En la figura 6 se ilustra la gráfica de una señal escalón retardada “n” veces T/2 segundos y también se ilustra su correspondiente integral que es una rampa retardada.

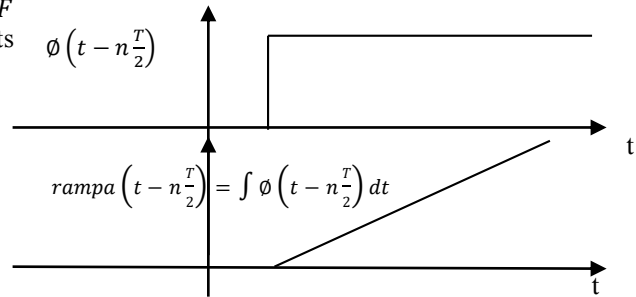


Figura 6. Señal escalón retardada en el tiempo y su integral, rampa retardada en el tiempo.

La salida mostrada en la expresión (6) en realidad es una sumatoria de rampas, resultado del estado estacionario de la integración de una sumatoria de escalones.

$$v_2(t) := \frac{5}{R \cdot C} \cdot \left[(t) \cdot \Phi(t) + \sum_{n=1}^N (-1)^n \cdot \left[2 \cdot \left(t - n \cdot \frac{T}{2} \right) \right] \cdot \Phi\left(t - n \cdot \frac{T}{2} \right) \right] \tag{6}$$

Realizando la prueba en el laboratorio con las conexiones y valores ilustrados en la figura 7; se obtienen los resultados mostrados en la figura 8.

Nótese que la señal de entrada es una sumatoria de escalones recorridos en el tiempo y la correspondiente salida es una secuencia de rampas.

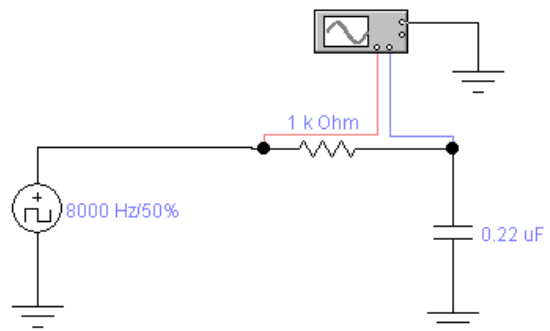


Figura 7. Circuito de prueba indicando equipo de excitación y medición.

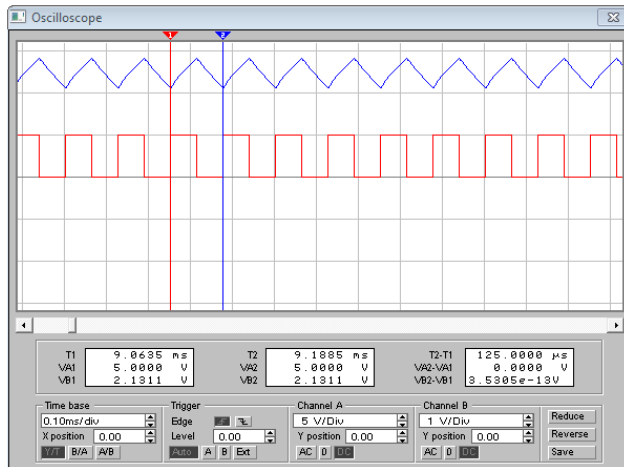


Figura 8. Mediciones para una entrada sumatoria de escalones, la correspondiente salida es una sumatoria de rampas.

VALIDACIÓN 3. Entrada Triangular Periódica.

Considerando como parámetros $R=1000$ ohms, $C=0.22\mu F$ y como entrada una señal de voltaje triangular de 10 Volts pico, con un off set de 0 V, a una frecuencia de 8,000 Hz. Probando si cumple restricción de frecuencia:

$$\frac{1}{R \cdot C} = 4.54 \times 10^3 \text{ rad/seg}$$

Convirtiéndolo a Hz serían:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 723.43 \text{ Hz}$$

Es decir, la frecuencia de corte es de 723.432 Hz.

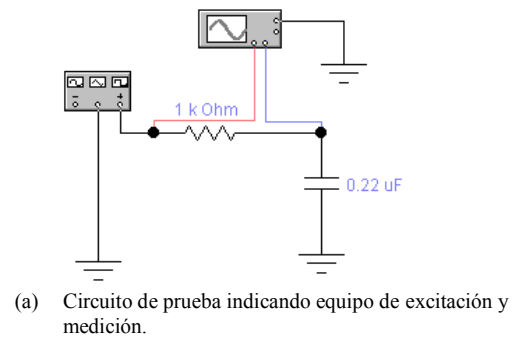
Si se alimenta una señal triangular con frecuencia de 8,000 Hz, se observa que sí cumple la restricción ya que $8,000\text{Hz} \gg 723.432\text{Hz}$ y la red eléctrica sí integrará, luego se procede a expresar la salida como:

$$v_2(t) := \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t v_1(t) dt$$

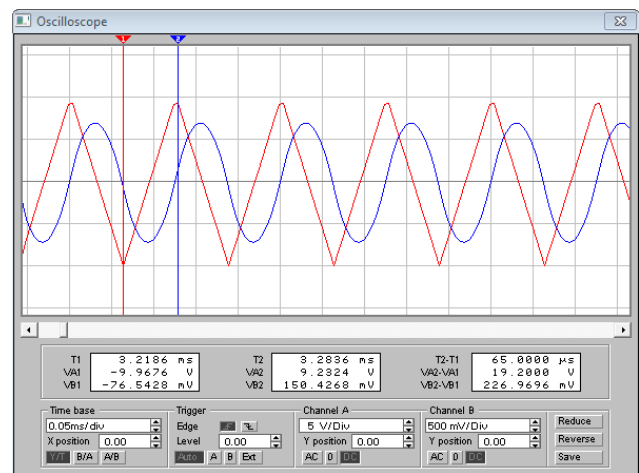
La entrada se puede representar como una sumatoria de segmentos de recta y la salida como una sumatoria de segmentos de parábolas. Ver ecuación (7).

$$v_2(t) = \frac{1}{RC} \int (\text{suma de segmentos de líneas rectas}) dt = \frac{1}{RC} (\text{suma de segmentos de parábolas}) \quad (7)$$

Recordando que al integrar una función lineal se produce una función al cuadrado; entonces, al integrar una función definida como una secuencia de segmentos de líneas, entonces se tendrá como salida, una secuencia de segmentos de parábolas. Realizando la prueba en el laboratorio se obtiene lo mostrado en la figura 9.



(a) Circuito de prueba indicando equipo de excitación y medición.



(b) Señales de voltaje de entrada y salida

Figura 9. Circuito de prueba y mediciones para una entrada secuencia de segmentos de líneas rectas.

Nótese que integrar un segmento de línea con pendiente positiva produce una parábola que abre hacia arriba y al integrar un segmento de línea con pendiente negativa produce una parábola que abre hacia abajo.

VALIDACIÓN 4. Entrada Tren de Impulsos.

Considerando como parámetros $R=1000$ ohms, $C=0.22\mu F$ y como entrada una señal compuesta por una sumatoria de impulsos recorridos y de una frecuencia de 8,000 Hz. En realidad son aproximaciones al impulso.

Probando si cumple restricción de frecuencia:

$$\frac{1}{R \cdot C} = 4.54 \times 10^3 \text{ rad/seg}$$

Convirtiéndolo a Hz serían:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 723.43 \text{ Hz}$$

Es decir, la frecuencia de corte es de 723.432 Hz. Si se alimenta una señal tren de impulsos con frecuencia de 8,000 Hz, se observa que sí cumple la restricción ya que $8,000\text{Hz} \gg 723.432\text{Hz}$ y la red eléctrica sí integrará, luego se procede a expresar la salida como la siguiente función:

$$v_2(t) := \frac{1}{R \cdot C} \int_0^t v_1(t) dt$$

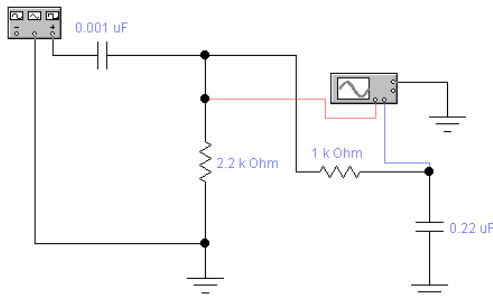
La entrada se puede representar como una sumatoria de impulsos:

Se procede a expresar la salida como:

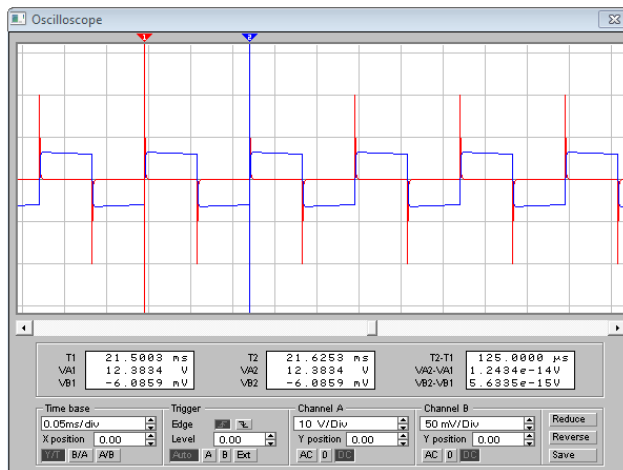
$$v_2(t) = \frac{1}{RC} \int (\text{suma de impulsos}) dt = \frac{1}{RC} (\text{suma de escalones}) \quad (8)$$

Recordando que al integrar una función impulso unitario se produce una función escalón unitario, entonces al integrar una función definida como una secuencia de impulsos recorridos, entonces se tendrá como salida, una secuencia de escalones recorridos. Entonces, la forma teórica del voltaje de salida está mostrada en la expresión (8).

Realizando la prueba en el laboratorio, ver la figura 10.



(a) Circuito de prueba indicando equipo de excitación y medición.



(b) Señales de voltaje de entrada y salida.

Figura 10. Circuito de prueba y mediciones para una entrada secuencia de segmentos de líneas rectas.

Nótese que integrar un impulso positivo produce una constante positiva y al integrar un impulso negativo se tiene una constante negativa.

Importante: se generó un tren de impulsos tal y como se sugiere en la referencia [7].

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Todo filtro pasa-bajas opera como integrador bajo ciertas restricciones.

La condición para que opere la red eléctrica pasiva propuesta como un circuito integrador de voltajes es que la frecuencia de alimentación de la entrada sea de un valor mucho mayor que la frecuencia de corte del filtro pasa-bajas.

Se validó experimentalmente que:

- La integral de una señal seno produce una señal menos coseno;
- La integral de un escalón produce una rampa;
- La integral de una línea recta produce una parábola, o
- Lo que es equivalente, integrar una rampa produce una parábola;
- Por último, se validó que la integral de un impulso produce un escalón.

La realización de la integración de señales de voltaje se construyen en la práctica con el apoyo de circuitos integrados (IC), tal procedimiento restringe la operación de la integración al ancho de banda del IC empleado. En este trabajo se propone una opción alternativa para realizar la integración, ya que se está demostrando cómo emplear una red eléctrica pasiva; es decir, sin requerir IC's.

En el desarrollo teórico de este trabajo se proponen representaciones simbólicas, mediante fórmulas, para señales típicas en un laboratorio de Electrónica y se sustentan sus representaciones con validaciones prácticas fácilmente realizables.

En todo este documento se abordan sólo los casos que favorecen la intención del trabajo, se recomienda, si así es el interés del lector, reproducir los experimentos para cuando no se tienen los resultados favorables que aquí se reportan; es decir, se sugiere repetir las validaciones propuestas pero ahora sin cumplir las restricciones de frecuencia que aquí se solicitan. Si decide hacerlo, obtendría imágenes interesantes.

Otro aspecto para enfatizar en este trabajo se encuentra en que sólo se consideró el estado estacionario de la respuesta del sistema propuesto, se tienen resultados muy interesantes al observar la respuesta transitoria de cada caso, respuesta que se invita al lector, para observar lo que acontece en la realización física transitoria.

Respecto a que se debe cumplir la restricción de frecuencia de la señal de entrada que se propone y que sea mucho mayor que la frecuencia de corte del filtro pasa-

bajas, arbitrariamente se considera un factor de 10; es decir, se cambia arbitrariamente la desigualdad frecuencia >> frecuencia de corte, por la desigualdad frecuencia > 10 frecuencia de corte.

AGRADECIMIENTO.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de la Laguna y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para desarrollar y divulgar el presente trabajo.

V. REFERENCIAS

- [1] Oppenheim, A. V. (1998). Señales y Sistemas. .Ed. PHH, p.688.
- [2] Hsu, H. P. (1973). Análisis de Fourier. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, pp 37-48.
- [3] Ziemer, R. E. (1981). Principios de Comunicaciones. Sistemas de modulación y ruido. Ed Trillas. P. 35.
- [4] Spiegel, Murray R.(1995) Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas.Ed Mc Graw Hill.
- [5] Couch II, Leon W. (1997). Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos. Ed. PH, p52.
- [6] Coughlin, Robert F. (1998).Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. Ed PH, pp 156-160.
- [7] Rodríguez Franco, A. (2018). Revista CID (Ciencia Investigación y Desarrollo), pp 29-34.

VI. BIOGRAFÍAS



Flores Ávila, José Agustín. Gómez Palacio, Dgo. México. 28 de agosto de 1947. Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (1974) y Maestría en Ciencias en Matemática Educativa en el Departamento de Matemática Educativa del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (1987) Cd. De México, Mex.

Él trabaja en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coah. Mex. adscrito al Departamento de Ciencias Básicas con línea de investigación Didáctica del Cálculo y Análisis Matemático.

El M. C. Flores Ávila pertenece a la Asociación Nacional de Profesores de Matemáticas y participa regularmente en los Congresos de Matemáticas del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (CLAME-RELME).



Flores Prince Carlos Uriel. Nació el 25 de abril del año 1972 en la ciudad de Torreón Coahuila México. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México en el año de 2008. Obtiene el grado de Especialista en Automatización de Procesos industriales por el Instituto Tecnológico de Saltillo, Saltillo Coah., México en el año 2004. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1998.

Él actualmente labora como jefe de división de la carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Las líneas académicas de interés son la Automatización de procesos y sistemas digitales.

El M. C. Carlos Uriel Flores Prince forma parte de la academia de Ingeniería Electrónica del I.T.S.L.



Rodríguez Franco Abel. Nació el 6 de junio del año 1960 en la ciudad de Torreón Coahuila México. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones por el CICESE, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, México en el año 1994. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1981.

Él actualmente labora como docente titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna. Las líneas académicas de interés son el Manejo de Señales Analógicas y Digitales, Sistemas Automáticos de Control y las Comunicaciones Electrónicas.

El MC Rodríguez Franco forma parte de la academia de Electrónica en el ITL.

El MC Rodríguez Franco forma parte de la academia de Electrónica en el ITL.

Transformada z y la Convolución Discreta Aplicada al Estudio de una Inversión Financiera

A. Rodríguez Franco¹, C.U. Flores Prince², C. Ríos Marmolejo²

Resumen— Este documento tiene como objetivo revisar tres alternativas sobre cómo analizar la evolución de un sistema dinámico discreto de primer orden utilizando tres procedimientos: primero, utilizando un procedimiento iterativo; segundo, utilizando la operación de convolución discreta; y tercero, utilizando una transformación lineal conocida como la Transformada z, esta transformación lineal se utiliza para el estudio de señales y sistemas discretos. Este documento puede ser estudiado por ingenieros eléctricos, electrónicos y mecatrónicos. El sistema a estudiar es típico de la vida cotidiana. Una comparación de resultados se hace de las tres maneras.

Palabras claves— Convulsión, Función de transferencia, Inversión financiera, Señal muestra unitaria, Sistema discreto, Transformada z.

Abstract— This document aims to review three alternatives on how to analyze the evolution of a first-order discrete dynamic system using three procedures: first, using an iterative procedure; second, using the discrete convolution operation; and third, using a linear transformation known as the z-Transform, this linear transformation is used for the study of discrete signals and systems. This document can be studied by electrical, electronic and mechatronic engineers. The system to study is typical of everyday life. A comparison of results is done in all three ways.

Keywords— Convolution, Discrete system, Financial investment, Transfer function, Transformed z, Unitary sample signal.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de los sistemas discretos es un área del conocimiento actual que posee relevancia debido a que los sistemas digitales tecnológicos y sus correspondientes aplicaciones cobran día a día más usuarios y adeptos [1],[2],[4],[5]. Qué podría tener de dificultad analizar una inversión financiera con las herramientas tecnológicas actuales. Analizar los sistemas en el dominio del tiempo es una opción obligada de manera natural, pero desde la

concepción de Fourier [2],[3],[5] que propone una alternativa para estudiar el comportamiento de sistemas temporales pero usando como intermediario a otro dominio, el de la frecuencia. Merece atención especial esta idea, motivada por las facilidades que brinda el realizar diversas operaciones que evitan la ejecución de procesos iterativos [3].

Las aplicaciones programáticas diseñadas para dispositivos computacionales, son utilizadas cada día más por las personas que tengan o no un suficiente soporte académico, dichas aplicaciones se han masificado con la popularidad que han alcanzado las computadoras, tabletas y celulares inteligentes. Una inversión financiera formal está circunscrita para un ambiente de personas estudiosas de las Ciencias Económico Administrativas [6],[7],[8] y [9]. Trabajar las inversiones considerándolas como un sistema dinámico discreto resulta novedoso y como tal reviste una utilidad metodológica con moderadas dosis de innovación.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Cualquier inversión financiera debe contemplar los siguientes datos: Capital de inicio, tasa o interés, tiempo de duración y retiro de efectivo. Al final de un periodo se tendrá un saldo modificado por los parámetros involucrados y actualizados. Con la intención de realizar pronósticos se concibe una fórmula que volverá a ejecutarse los periodos que sean necesarios. Esta fórmula se muestra de manera iterativa en la expresión (1).

$$\text{Saldo}_n := \text{Saldo}_{n-1} + \text{interés} \text{Saldo}_{n-1} - b \quad (1)$$

En (1) se observa que Saldo_n es el saldo del capital en el valor presente n; saldo_{n-1} representa el saldo en el periodo inmediato anterior; interés es la tasa que al multiplicarse por saldo_{n-1} representan los réditos ganados por la inversión en un periodo n y b representa la cantidad que se dispone al término de un periodo, podría denominarse “cantidad retirada para manutención”.

Una inversión financiera, se propone en este estudio, concebirla como un sistema discreto y como tal, su tratamiento naturalmente se realiza en el dominio del

1,2 Tecnológico Nacional de México,

1 Instituto Tecnológico de la Laguna,

2 Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Comarca Lagunera, Estados de Coahuila y Durango, México.

abel.r.f@hotmail.com, cufprince@yahoo.com.mx,

cesar_rimc@hotmail.com.

tiempo. Sin embargo en este trabajo se propone también considerar el estudio del comportamiento de una inversión financiera pero en el dominio de la frecuencia. Ver figura 1.

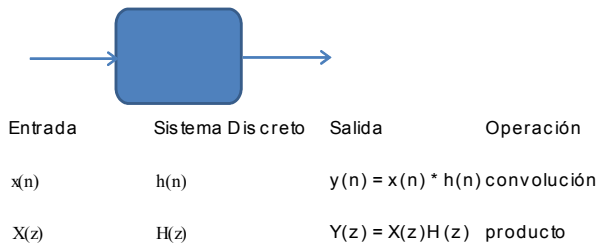


Figura 1. Inversión Financiera esquematizada como un sistema discreto usando el dominio n y el dominio z .

En el dominio del tiempo la entrada es $x(n)$, la representación del sistema $h(n)$ se le llama respuesta a la muestra unitaria [1], la salida es $y(n)$ y la operación a realizar en el dominio del tiempo se llama convolución [1], [2], [5].

En el dominio de la frecuencia a la entrada se le conoce como $X(z)$, la representación del sistema es $H(z)$ y se le llama Función de Transferencia (FDT), y a la salida se le llama $Y(z)$.

En la figura 1 se resalta la correspondiente operación que se debe realizar si se desea obtener el valor de la salida $y(n)$ ó $Y(z)$.

En el dominio del tiempo el sistema financiero es descrito en su comportamiento temporal por la ecuación de diferencias no homogénea dada por (2).

$$y(n) = y(n - 1) + a \cdot y(n - 1) - b \cdot \Phi(n - 1) \quad (2)$$

Donde se distingue a un escalón unitario definido por (3) aunque en (2) se requiere que el escalón unitario esté retardado en una unidad ya que se toman utilidades de efectivo al término del período n .

$$\Phi(n) := \begin{cases} 1 & \text{if } n \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Para detallar la expresión (2) en ella se debe considerar como entrada a la cantidad que afecta el saldo; es decir, a la toma de utilidades se le debe llamar $x(n)$, así la

expresión (2) se modifica a la expresión (4)

$$y(n) = y(n - 1) + a \cdot y(n - 1) - x(n) \quad (4)$$

Obteniendo la transformada z directa a la expresión (4) y buscando expresar la razón entre la salida $Y(z)$ entre la entrada $X(z)$ se obtendrá la Función de Transferencia (FDT) dada por $H(z)$ y expresada en (5).

$$H(z) = \frac{z}{z - (1 + a)} \quad (5)$$

La correspondiente respuesta a la muestra unitaria de $H(z)$ se le llama Transformada z Inversa y viene dada por (6).

$$h(n) := (1 + a)^n \cdot \Phi(n) \quad (6)$$

Observando la figura 1 se podría obtener la salida del sistema discreto de dos maneras: en el dominio del tiempo usando la operación convolución discreta dada por (7) y obteniendo la transformada z inversa del producto entre la transformada directa z de la entrada y la FDT; es decir usando (8).

$$\text{convolución}(n) = \sum_{m=0}^N x(m) \cdot h(n - m) \quad (7)$$

$$y(n) = Z^{-1}\{X(z) \cdot H(z)\} \quad (8)$$

III. RESULTADOS

En este documento se deberán conciliar los resultados de las expresiones (1), usando procedimiento iterativo. En segundo término empleando (7); es decir, considerando a una inversión como un sistema discreto pero estudiándolo en el dominio del tiempo mediante la convolución discreta. Y en tercera instancia, considerando a una inversión como un sistema discreto pero analizándolo en el dominio de la frecuencia empleando transformada z directa e inversa; es decir, se propone usar (8). Con la intención de someter a prueba la aseveración principal de este documento se asignan los siguientes supuestos a los parámetros:

Capital de inicio: 800000

Interés: 8.25%

Retiro para manutención: 3000

Tiempo normalizado: $n=0,1,2,3 \dots n$ es el mes presente

Horizonte de prueba: los próximos 5 años.

$Sald_{q_0} := 800000$ interés := 8.25

$$Sald_{q_n} := Sald_{q_{n-1}} + \frac{\text{interés} \cdot Sald_{q_{n-1}}}{100} - 3000$$

Al realizar la corrida iterativa se obtienen los resultados empleando (1) y se muestran en la figura 2.

	0	
45	931320.562	
46	934723.391	
47	938149.614	
48	941599.393	
49	945072.889	$Sald_{q_8} = 820487.92$
50	948570.265	
51	952091.685	
52	955637.316	A final de los 5 años se tendría 984984.13 pesos
53	959207.322	
54	962801.873	
55	966421.135	
56	970065.281	$Sald_{q_{60}} = 984894.13$
57	973734.48	
58	977428.904	
59	981148.728	
60	984894.125	

Figura 2. Corrida iterativa mostrando resultados y haciendo algunas anotaciones.

Con los mismos parámetros pero utilizando (7) se obtiene la convolución discreta en el dominio temporal normalizado.

$$\text{convoluci3(n)} := \sum_{m=0}^{60} x(m) \cdot h(n - m)$$

En la figura 3 se indican algunos resultados específicos para diferentes valores de n con la intención de hacer comparaciones entre los tres procedimientos. Se usó la fórmula de la convolución dada por la ecuación (7).

convoluci3(n) =

931320.562
934723.391
938149.614
941599.393
945072.889
948570.265
952091.685
955637.316
959207.322
962801.873
966421.135
970065.281
973734.48
977428.904
981148.728
984894.125

convoluci3(5) = 800000

convoluci3(8) = 820487.924

convoluci3(60) = 984894.125

Figura 3 Realización empleando la fórmula de la convolución discreta. Se indican valores para diferentes valores de n.

Por último, usando la expresión (8) se obtienen los resultados mostrados en la figura 4 y en la figura 5.

ENTRADA dominio n $80000x(n) - b \cdot \Phi(n - 1)$

ENTRADA dominio z $\frac{-(80000 - 80000a + b)}{(-1 + z)}$

FDT del sistema discreto

$$\frac{z}{z - (1 + a)}$$

PRODUCTO EN EL DOMINIO z

$$\frac{-(80000 - 80000a + b)}{(-1 + z)} \cdot \frac{z}{z - (1 + a)}$$

TRANSFORMADA z INVERSA

$$\left[\frac{b + 80000(1 + a)^n \cdot a - b \cdot (1 + a)^n}{a} \right]$$

Figura 4 Procedimiento usando un cambio de dominio temporal n al dominio z, realizando el producto en el dominio z, y obteniendo la transformada z inversa.

IGUALANDO A LA SALIDA DEL SISTEMA en el dominio temporal n

$$y(n) := \frac{[b + 80000(1+a)^n \cdot a - b \cdot (1+a)^n]}{a}$$

$$y(0) = 800000$$

$$y(8) = 820487.924$$

$$y(60) = 984894.125$$

Figura 5. Igualando la transformada z inversa a la función de salida del sistema discreto en el dominio n.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Empleando los tres procedimientos y especificando los mismos parámetros por los tres caminos se obtuvieron los mismos resultados de pronóstico de saldo para todo valor de n. Se hace hincapié en tres valores específicos del saldo para hacer un comparativo por las tres vías: valor inicial del saldo; es decir, el capital de inicio o condiciones iniciales en el instante cero. También se cuantifica el saldo en el mes ocho y por último se cuantifica en el mes número sesenta. Empleando la fórmula iterativa, usando la convolución discreta y realizando el uso de la transformada z se valida que se obtienen por los tres caminos cantidades idénticas.

Se validaron alrededor de catorce ejecuciones más que no se reportan en este documento. En esos casos se modificaron los distintos parámetros y en todas las pruebas se obtuvieron resultados equivalentes por las tres alternativas. Tales corridas no se presentan en este documento pero se encuentran a disposición de quien lo requiera.

Los procedimientos que no emplean a la transformada z requieren localidades de memoria y reutilización de tales localidades. Sin embargo el uso de la transformada z permitió obtener una fórmula que para evaluarla sólo hay que aplicarla directamente sin necesidad de la utilización de localidades de memoria; puede verse que se consumió esfuerzo de análisis pero se obtuvo el beneficio de una fórmula de aplicación directa. Debe aceptarse que al usar la transformada z se obtiene una fórmula de fácil ejecución.

Dentro de las diversas pruebas realizadas se usaron las adecuaciones para que también el sistema financiero sea estudiado como un sistema homogéneo; es decir, sin considerar “retiros para mantenimiento”, pero de igual

manera se obtuvieron resultados equivalente por los tres caminos.

Precaución: en el caso general descrito aquí se considera a un sistema discreto dinámico no homogéneo y se consideró como entrada x(n) a la cantidad de retiro con “finés de mantenimiento”, esto podría fácilmente confundir al lector preguntándose cómo es que una entrada al sistema dinámico en realidad es una salida de dinero. Fue indispensable esta consideración para hacer cuadrar todos los resultados por las tres vías diferentes. Ver figura 6.

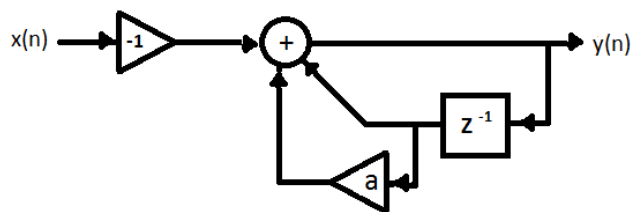


Figura 6. Gráfica del sistema discreto no homogéneo o Función de Transferencia del sistema de Estudio. Ver ecuación (4).

Como una herramienta de validación para las tres opciones se empleó una aplicación de programación para realizar eventos matemáticos, pero de similar forma se podría usar cualquier aplicación que sea capaz de realizar operaciones básicas y que sea capaz de obtener la transformación de dominio temporal directo de n a z y la transformación inversa de dominio; es decir, de z a n. Algunas opciones recomendadas serían Mathematica, Matlab, PTC Mathcad, Derive, entre otros.

Por último al observar la figura 7 se aprecia que el comportamiento de los tres conjuntos de valores coinciden al graficarlos. En la figura 7 se ilustra el comportamiento dentro de todo el horizonte limitado a sesenta meses y en la figura 8 se realizó un acercamiento a la figura 7, “zoom”, donde se aprecia la reiteración de la coincidencia.

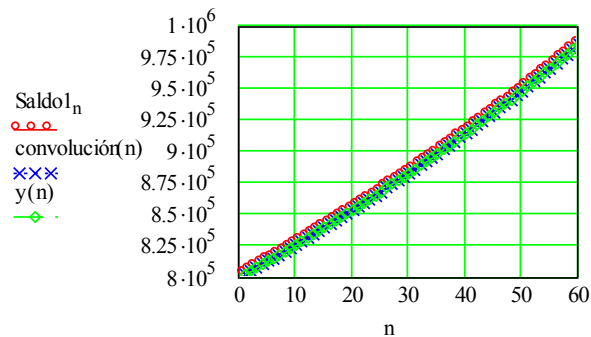


Figura 7. Gráfica del comportamiento comparativo de los tres conjuntos de datos obtenidos por tres vías distintas de análisis. Gráfica que incluye un horizonte de 60 meses.

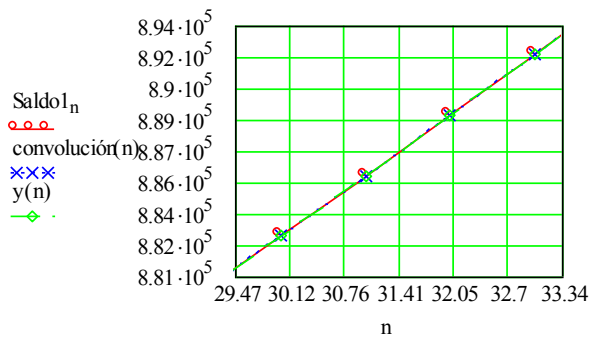


Figura 8 Acercamiento de la gráfica de la figura 7 enfocando los meses desde el 29 al 33.

Es ineludible comentar que resulta gratificante aplicar dos procedimientos tan áridamente teóricos como lo son la transformación lineal z así como la convolución discreta a una actividad típica de la vida diaria como lo es el análisis del comportamiento dinámico de una inversión financiera.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de la Laguna y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades prestadas a los autores para la realización y divulgación del presente trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Mitra, Sanjit K. (2001). Digital Signal Processing, A computer-Based Approach. New York NY: McGraw-Hill, Inc.
- [2] Oppenheim, Alan V. Willsky, Alan S. Young, Ian T. (1994). Señales y Sistemas. México Méx.; Prentice Hall Hispanoamericana.
- [3] Wailey, C. R. (1969). Matemáticas Superiores para Ingeniería. México Méx.: McGraw-Hill, Inc.
- [4] Vaccaro, Richard J. (1995). Digital Control, A State-Space Approach. USA: McGraw-Hill, Inc.
- [5] Oppenheim, Alan V. Willsky, Alan S. Young, Nawab, S. Hamid (1998). Señales y Sistemas. México Méx.; Prentice Hall Hispanoamericana.
- [6] Blank, Leland. Tarquin Antony. (2005). Ingeniería Económica. México. McGraw-Hill / Interamericana Editores S. A. de C. V.
- [7] Degarmo, E. Paul. Sullivan, William G., Bontadelli, James A. (1993). Engineering Economic. New York NY. Macmillan Publishing Company.
- [8] Grant, Eugene L. Grant Ireson, W. (1976). Principles of Engineering Economic. USA. John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Sepúlveda, José A. Soufer William E. Gottfried, Byron S. (1992). Ingeniería Económica.. McGraw-Hill/Interamericana de México S. A. de C. V.

VII. BIOGRAFÍAS



Flores Prince Carlos Uriel. Nació el 25 de abril del año 1972 en la ciudad de Torreón Coahuila México. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México en el año de 2008. Obtiene el grado de Especialista en Automatización de Procesos industriales por el Instituto Tecnológico de Saltillo, Saltillo Coah., México en el año 2004. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1998.

Él actualmente labora como jefe de división de la carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Las líneas académicas de interés son la Automatización de procesos y sistemas digitales.

El M. C. Carlos Uriel Flores Prince forma parte de la academia de Ingeniería Electrónica del I.T.S.L



Ríos Marmolejo César. Nació el 30 de junio del año 1971 en la ciudad de Gómez Palacio Durango México. Maestría en Ciencias de Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México. Especialista en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Cd. Lerdo, Durango, México en el año 2016. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah., México en el año 1997.

Él actualmente labora como Jefe de la División de Posgrado y Docente de la Especialización en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México. También ha impartido diferentes materias del área de electrónica y redes computacionales para las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Licenciatura en Informática. Las líneas académicas de interés son Sistemas Automáticos de Control y desarrollo de sistemas computacionales.

El Ing. Ríos forma parte del consejo de posgrado del ITSL



Rodríguez Franco Abel. Nació el 6 de junio del año 1960 en la ciudad de Torreón Coahuila México. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones por el CICESE, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, México en el año 1994. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería

Industrial Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1981.

Él actualmente labora como docente titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna. Las líneas académicas de interés son el Manejo de Señales Analógicas y Digitales, Sistemas Automáticos de Control y las Comunicaciones Electrónicas.

El MC Rodríguez Franco forma parte de la academia de Electrónica en el ITL.

Aspectos que Impulsan e Impactan la Gestión de la Innovación en los estudiantes del Tecnológico Nacional de México

E.A. Meraz-Salazar¹, O.A. García-Cano², O.R. Chagolla-Aguilar³.

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo, identificar los aspectos relevantes que impulsan el crecimiento, así como la gestión de la innovación en el Tecnológico Nacional de México durante el Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológico.

En el Planteamiento del problema se presentan los antecedentes, interrogantes de la investigación, así como los objetivos generales y específicos y la justificación de su realización. En el Marco teórico, se presenta el fundamento teórico que condujo la realización de esta investigación considerando como ejes fundamentales la gestión de la innovación, apoyos gubernamentales, metodologías para la gestión de innovación. En la Metodología de la Investigación, se presenta la metodología empleada, así como la operacionalización de sus variables, población y muestra, el contexto bajo el cual se desarrolló la investigación, su instrumento, así como prueba piloto y procedimiento. En los Resultados se presentan los resultados de acuerdo al análisis univariable, integración de factores, correlaciones, comparativo y Anova se da respuesta e identifica el resultado de acuerdo al objetivo planteado. Y por último se presentan las conclusiones, recomendaciones, así como discusión de acuerdo a los resultados analizados.

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 20 de mayo del 2017 y establece metas claras las cuales tiene como objetivo nacional conforme al Modelo de Educación de Calidad desarrollar el potencial de los mexicanos con una educación de calidad, así como vincular los diversos sectores tales como: públicos, sociales y privados, al gestionar proyectos a nivel Nacional que respondan a las necesidades del país. Respondiendo a tal objetivo el Sistema Tecnológico Nacional de México plantea como estrategia concreta impulsar la participación de los alumnos en el Evento Nacional de Innovación Tecnológica para la generación de innovación en sus diversas categorías: Proceso, Servicio, Producto, Mercadotecnia, Organización, Aplicaciones Móviles e Innovación Social. Con el fin de impulsar la gestión de la innovación, así como la creación de estrategias que apoyen la generación de ciencia y tecnología.

Palabras claves—Innovación, Tecnología, Gestión, Impacto, Procesos, Aplicación, Impulso, Creación.

Abstract— The objective of this research is to identify the relevant aspects that drive growth, as well as the management of innovation in the National Technological Institute of Mexico during the National Student Event of Technological Innovation.

In the Approach of the problem the antecedents, questions of the investigation, as well as the general and specific objectives and the justification of their realization are presented. In the theoretical framework, the theoretical foundation that led the realization of this research is presented, considering as fundamental the management of innovation, government support, methodologies for innovation management. In the Research Methodology, the methodology used is presented, as well as the operationalization of its variables, population and sample, the context under which the research was developed, its instrument, as well as pilot test and procedure. Results are presented according to the univariate analysis, factor integration, correlations, comparative, and Anova. The response is given and the result is identified according to the stated objective. And finally, you present the conclusions, recommendations, as well as discussion according to the results analyzed.

According to the National Development Plan that was published in the Official Gazette of the Federation on May 20, 2017 and establishes clear goals which have as a national objective according to the Model of Quality Education to develop the potential of Mexicans with an education of quality, as well as linking the various sectors such as: public, social and private, when managing projects at the National level that respond to the needs of the country. Responding to this objective, the National Technological System of Mexico proposes as a specific strategy to promote the participation of students in the National Event of Technological Innovation for the generation of innovation in its various categories: Process, Service, Product, Marketing, Organization, Mobile Applications and Social Innovation In order to promote the management of innovation, as well as the creation of strategies that support the generation of science and technology

Keywords— Innovation, Technology, Management, Impact, Processes, Application, Impulse, Creation.

¹ Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería Industrial. Av. Tecnológico S/N Col. Periférico. C.P. 35150, Ciudad Lerdo, Dgo. México.

² Tecnológico Nacional de México, Av. Universidad 1200, col. Xoco, Cd. de México, Alcaldía de Benito Juárez: C.P. 03330

³ Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Durango. Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya Durango, Dgo. México C.P. 34080

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 20 de mayo del 2015 y establece metas claras las cuales tiene como objetivo nacional conforme al Modelo de Educación de Calidad desarrollar el potencial de los mexicanos con una educación de calidad, así como vincular los diversos sectores tales como: públicos, sociales y privados, al gestionar proyectos a nivel Nacional que respondan a las necesidades del país. Respondiendo a tal objetivo el Sistema Tecnológico Nacional de México plantea como estrategia concreta impulsar la participación de los alumnos en el Evento Nacional de Innovación Tecnológica para la generación de innovación en sus diversas categorías: Proceso, Servicio, Producto, Mercadotecnia, Organización, Aplicaciones Móviles e Innovación Social. Considerando lo anterior se estipula que en todos los programas de estudio del Sistema Tecnológico Nacional de México de acuerdo a ese enfoque se realizará la difusión del Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica.

El Tecnológico Nacional de México cuenta con 254 Instituciones de las cuales 126 son Institutos Tecnológicos Federales, 122 Institutos Tecnológicos Descentralizados, 4 Centros Regionales de Optimización y Desarrollo, 1 Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Y 1 Centro Disciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica. Cuya matrícula es 600,000 estudiantes, y cuenta con el 68% de sus programas de calidad reconocidos, 43 programas de licenciatura, 12 especializaciones 2 de ellas en el Programa Nacional de Calidad, 46 Maestrías en Ciencias entre otros.

La innovación es esencial en el crecimiento de las Instituciones y organizaciones, representa un gran reto para México el Incrementar la competitividad, así como la productividad. Siendo uno de los pilares la formación de talento humano calificado que este a la par de las propuestas y soluciones en los diversos sectores estratégicos como: Aeroespacial, Agroindustrial, Automotriz, Energía, Nanotecnología, Tecnologías de Información, Comunicación y Electrónica, Ciencias Ambientales, Salud, Educación, Automatización y Robótica.

Los objetivos que se logran con la participación en el Evento Nacional de Innovación Tecnológica es propiciar la vinculación con los diversos sectores, así como ayudar a resolver las necesidades del entorno a través de proyectos innovadores, genera competencias profesionales genéricas y específicas y promueve una cultura de protección de la propiedad intelectual de los proyectos generados. En el Evento Nacional de Innovación Tecnológica participan estudiantes del sistema TECNM a nivel licenciatura y posgrado y son equipos multidisciplinarios como mínimo de 3 carreras diferentes y como máximo 2 asesores internos y 1 asesor externo. El evento se realiza en tres etapas local, regional y nacional.

En la etapa local participan alumnos de la misma institución y considerando la rúbrica establecida se ha de tener una puntuación como mínima de 70 para se acreedores a pasar a la etapa regional, pudiéndose declarar desierta alguna categoría en caso de que algún

equipo no llegue a la puntuación. Las categorías en las que se participa son Producto/Servicio, Proceso.

En la etapa regional participan los proyectos cuya valoración de acuerdo al desarrollo de cada uno de los criterios a evaluar se consideran mejor evaluados de la etapa local y se participa a nivel regional con todas las instituciones de acuerdo a su zona. Se presenta el proyecto ante un jurado previamente elegido y experto en su tema y también se evalúa el proyecto en el stand, de acuerdo a la rúbrica establecida para la evaluación en la etapa local.

En la etapa nacional, participan los proyectos cuya puntuación le hizo acreedor a ganar el primero, segundo y tercer lugar de cada categoría en la etapa regional. La dinámica de evaluación es la misma que en la etapa Regional, únicamente que el criterio en cuestión de rúbricas es diferente.

En la etapa nacional participan los mejores proyectos a nivel regional que representan la Región en la cual viven y dan respuesta clara a problemas estratégicos y tienen un impacto de gran alcance.

Actualmente no se tienen ningún estudio realizado sobre las habilidades necesarias con relación a aspectos psicosociales que originan la generación de la innovación y que se desarrollan en los jóvenes al momento de participar en el evento. El conocer las habilidades que detonan o impactan logra generar capacitaciones para el fortalecimiento y creación de una cultura innovadora desde el Sistema TECNM que fortalezca su desarrollo.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Diseño

El diseño es No experimental ya que es un estudio que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos y su objetivo es determinar cuál es la relación entre un conjunto de variables en un momento evaluando un evento en fenómeno o contexto en un punto del tiempo.

Tipo Transeccional por la Investigación se recopilan datos en un momento dado, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelaciones en un momento dado. Y es Diseño Transeccionales Correlacionales causales porque este diseño describe relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces únicamente en términos Correlacionales, otra en función de la relación causa-efecto (causales). Se recolectan datos y se describen relaciones entre X y Y. Los diseños Correlacionales-causales pueden limitarse a establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad o pretender analizar relaciones causales. Cuando se limitan a relaciones no causales, se fundamentan en planteamientos e hipótesis Correlacionales del mismo modo, cuando buscan evaluar vinculaciones causales, se basan en planteamientos e hipótesis causales.

B. Población y Muestra

La población considerada para el análisis de la presente investigación son un total de 300 jóvenes pertenecientes a los diversos Institutos Tecnológicos de todo el país, que participaron

en el ENEIT 2016 en su Etapa Nacional que se celebró en el Instituto Tecnológico de Pachuca en el mes de Noviembre .

Del total de la muestra y apoyandose en la herramienta STATS se deduce lo siguiente:

Tamaño de la Población:300
Error Máximo Aceptable:5%
Nivel deseado de confianza:95%
Tamaño de la muestra: 100

Tabla para seleccionar aleatoriamente el tamaño de muestra necesario (n) de una población finita de N casos, estando la proporción de la muestra p entre ± 0.05 de la proporción p de la población con un 95% de nivel de confianza. (Krejcie, R. V. and D. W. Morgan. 1970)

K	10400
α	0.93490539
media de medias	7.57567308
Límite Superior	10.0729154
Límite Inferior	5.07843072

Tabla 1. Población y muestra

C. Entorno

El Evento Nacional Estudiantil de Innovación y Tecnológica, surge del Tecnológico Nacional de México, como una estrategia para la generación de conocimiento e innovación. Este evento se realiza en tres etapas: local, regional y nacional. En su etapa local se presenta la convocatoria por parte de cada una de las Instituciones pertenecientes al sistema del Tecnológico Nacional de México, se lleva a cabo de acuerdo a 3 categorías: proceso, servicio y producto. Después de evaluar el proyecto, así como la presentación del mismo en un stand, se eligen los de mayor puntuación por cada una de estas categorías, pasando a la etapa regional los primeros lugares por categoría. Después en la etapa nacional se presentan los mejores proyectos por institución y se participan de la misma manera, se presenta en el stand y se entrega un proyecto en escrito, el jurado calificador con base a lo presentado evalúa y de esa etapa se pasa a una etapa nacional las más altas puntuaciones por cada categoría que son los que han de representar la región en la cual participaron para la etapa nacional. En la Etapa Nacional existen diversas categorías: producto, proceso y servicio y después de la evaluación de un comité de jurados internos, así como externos al sistema se evalúan conforme a una rúbrica y con base a la aportación y conocimiento demostrado y son los ganadores por cada una de las categorías

D. Validación del Instrumento

Para validar el contenido del instrumento, se realizó un análisis detallado por los compañeros estudiantes y los doctores que impartieron cátedra, analizando cada una de las variables. La

validez del constructo se obtuvo sobre la base de la revisión de la literatura.

Se calculó la confiabilidad del instrumento obteniendo un alpha de Cronbachs de 0.93, lo que señala un coeficiente de confiabilidad aceptable.

Para la realización de esta investigación se implementó un instrumento de 100 variables, y las instrucciones son en que medida en una escala de 0 a 10 la pregunta se asemeja mas a su comportamiento.

E. Procedimiento

El procedimiento se desarrolla de acuerdo a Kerlinger (1975) es una investigación sistemática, controlada, empírica y crítica. El procedimiento para realizar la investigación ha sido el siguiente:

1. Planear el problema de Investigación
2. Elaborar el marco teórico en base a los objetivos planteados en el problema
3. Seleccionar el diseño apropiado de investigación
4. Seleccionar la muestra
5. Realizar la recolección de datos
6. Analizar los datos
7. Presentar los datos y recomendaciones.

En referencia a Hernández, Fernández y Baptista (1998) la investigación es de tipo correlacional, pues nos permitirá conocer como se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

La investigación es no experimental, se va a realizar sin manipular deliberadamente las variables y el diseño es del tipo transeccional correlacional para describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado

III. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados así como los estadígrafos más relevantes de acuerdo al análisis correlación con un grado de confiabilidad del 95%

	Quando estoy generando proyectos soy conciente de mis emociones
Se identificar las causas reales de mis emociones	0.429970
Sé demostrar mi alegría a través de movimientos corporales hacia los demás	0.349044
Quando genero un proyecto recuerdo constantemente las palabras de apoyo	0.421477
Sé decir que no cuando algo no me convence para su realización y proyección	0.417293

Tabla 2. Correlaciones 1

De acuerdo a las variables analizadas la lectura es la siguiente: Para los jóvenes es fácil identificar las causas reales de las emociones cuando están generando un proyecto respecto a innovación así como lo demuestran a través de sus movimientos

corporales hacia los demás jóvenes y cuando generan un proyecto recuerdan constantemente las palabras de apoyo de su familia o amigos y tienen la capacidad de hablar claramente cuando alguna situación no lo convence para su realización y proyección.

Se realiza el comparativo de la prueba t con un nivel de significancia de para realizar un analisisentre las variables nominales y la variable de grupo de genero, obteniendose los siguientes resultados

Se realiza el comparativo de la prueba t con un nivel de significancia de para realizar un analisisentre las variables nominales y la variable de grupo de genero, obteniendose los siguientes resultados

A continuacion se presenta la tabla del comparativo de genero:

T-tests: Grouping: Genero (Hoja1 in BASE DE DATOS FINAL)

Group : Hombres

Group : Mujeres

VARIABLES	H	M	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std. Dev.	Std. Dev.	F-ratio	p
Tengo con frecuencia problemas para distribuir adecuadamente el tiempo que dedico a la creación o innovación de un proyecto	8,145 45	9,040 0	-2,8340 9	103	0,0055 31	55	50	1,899 495	1,2282 39	2,3917 20	0,002 381
Tengo con frecuencia problemas para distribuir adecuadamente el tiempo que dedico a la creación o innovación de un proyecto	5,854 55	4,2800 0	2,7553 6	103	0,0069 34	55	50	2,811 472	3,0441 65	1,1723 81	0,567 204
Considero las palabras del docente como guía para la mejor creación de ideas	7,454 55	8,3800 0	-2,3691 0	103	0,0182 33	55	50	2,141 462	1,7715 44	1,4612 24	0,180 211
Las palabras cálidas impulsan a generar	7,418 18	8,1800 0	-2,0067 8	103	0,0473 93	55	50	1,940 703	1,9450 62	1,0044 97	0,983 621
Capacidad para hacerles entender las cosas más difíciles a través de imágenes, historias o juegos de palabras	6,618 18	7,5600 0	-2,2297 1	103	0,0279 37	55	50	2,248 381	2,0618 99	1,1890 64	0,540 644
Identifico cuando una situación me causa alegría	8,909 09	9,3800 0	-2,1935 5	103	0,0305 16	55	50	1,076 220	1,1228 61	1,0885 54	0,758 605
Identifico cuando estoy en situaciones de estrés	8,454 55	9,2600 0	-2,6184 4	103	0,0101 65	55	50	1,793 178	1,2906 26	1,9303 96	0,020 954
Genero innovación por mi propia iniciativa	8,254 55	7,3400 0	2,1779 6	103	0,0316 91	55	50	1,964 671	2,3352 66	1,4128 41	0,215 888
Recuerdo el apoyo de mi familia como motivación para la realización de una innovación	7,436 36	8,4800 0	-2,1426 3	103	0,0344 99	55	50	2,773 977	2,1403 80	1,6796 71	0,067 640
Recuerdo las personas que siempre me apoyan al iniciar un proyecto	7,909 09	8,9800 0	-2,5400 2	103	0,0125 78	55	50	2,343 413	1,9324 30	1,4705 84	0,173 028
Al iniciar un proyecto identifico las emociones en ese momento que me impulsan a finalizar	7,836 36	8,6200 0	-2,2635 9	103	0,0256 96	55	50	2,149 622	1,2270 76	3,0688 93	0,000 111

Tabla 4.4.1 Comparativo Genero

1= HOMBRES

2= MUJERES

De acuerdo a la tabla anterior se muestra que las mujeres solicitan mayor apoyo para la generación de conocimiento a diferencia del hombre así mismo los hombres distribuyen mejor su tiempo que las mujeres cuando se van a enfocar a actividades de innovación, con relación al impulso de las ideas las mujeres mayor impulso en relación a los hombres, las mujeres tienen una inteligencia visual desarrollada en comparación a los hombres, así mismo las mujeres

tienen mayor facilidad para identificar las emociones así como el estrés. Se percibe que los hombres cuentan con una mayor iniciativa para la generación de la innovación, a las mujeres el apoyo de su familia le permite generar mayor innovación por lo cual requiere mayor impulso, y por ultimo las mujeres tienen una mayor identificación de las emociones al inicio de la generación del conocimiento.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Las habilidades sociales impulsan de manera contundente el desarrollo de la innovación al acompañar al joven en su proceso de creación y generando con ellos lazos estrechos de amistad que ponen de manifiesto el anclaje emocional creado por su familia al fortalecer la autoestima en el joven y potencializar sus conocimientos y destrezas para el logro del proyecto. Así mismo para los jóvenes que participan en el Evento lo esencial no es ganar sino socializar y participar en el Evento para tener la oportunidad de acrecentar su cantidad de contactos y amistades que en los posterior ayuden a establecer su proyecto en el sector productivo. Por lo cual desde el TECNM se ha de impulsar la generación de una Cultura Innovadora.

V. AGRADECIMIENTOS

Un gran agradecimiento a la Dirección de Vinculación e Intercambio Académico del Tecnológico Nacional de México las facilidades otorgadas para la aplicación del Instrumento de Medición, así como su realización de la presente investigación en la que pone de manifiesto su compromiso para la Investigación, Vinculación e Innovación.

VI. APÉNDICES

Se realizó el análisis de los datos obtenidos después de la aplicación del instrumento considerando el Análisis de Correlaciones, así como el Comparativo T con el fin de tener una claridad de los datos recabados y que aporte la información más completa para el análisis.

VII. REFERENCIAS

ALONSO, M. y MATILLA, L. *Imágenes en acción, análisis y práctica de la expresión audiovisual*, Madrid. Ed. Akal. 1990.
 Andreas Steve y Faulkner Charles. "PNL: La nueva tecnología del éxito". Ed. Urano, 1998.
 Antunes Celso. "Las Inteligencias Múltiples". Ed. Alfaomega. 2002. Mexico
 APARICI, R. et al. *La imagen*, Madrid: UNED. 1992.
 APARICI, R. y GARCÍA, A. *Lectura de imágenes*. Madrid. Ediciones de la Torre. 1987.
 APTI. *Qué es la asesoría de imagen*. Ed. Videocino. 2002.
 ARIJÓN, D. *Gramática del lenguaje audiovisual*. Guipúzcoa. Editor y titular: Escuela de cine y vídeo. 1976.
 BERNE, E. "Juegos en los que participamos". Ed. Diana. 1986.
 BETTETINI, G. *La conversación audiovisual*. Madrid: Cátedra. 1984.
 Bradbury Andrew. "PNL para el éxito de los negocios". Ed. Panorama, 2000.
 Caballo, V. *Manual de evaluación y entrenamiento de las habilidades sociales*. Editorial S. XXI. 2002.

CROCE, Benedetto, *Estética como ciencia de la expresión y lingüística general*, Hybris, 1997.
 DAVIS, Flora, *La comunicación no verbal*, Alianza Editorial, 2005.
 DE ARTEAGA, Esteban, *Investigaciones sobre la Belleza Ideal*, Comunidad de Madrid, 1993.
 De la Parra Paz Eric. "Herencia de vida para tus hijos". Ed. Grijalbo. 2004. México.
 García Villaseñor, Hilda. "ABC Manual de Programación Neurolingüística". Ed Uranno. 1997
 Gardner, Howard. "Inteligencias Múltiples". Ed. Grupo Planeata Spain, 2015.
 Goleman Daniel. "Inteligencia Emocional". Ed. Vergara. 1995. Mexico
 Goleman Daniel. "Inteligencia Social". Ed. Planeta, 2006. México
 Goleman, D. *La práctica de la inteligencia emocional*. Editorial Kairos. 1999.
 Gordoá Victor. "El Poder de la Imagen Pública". Ed. Debolsillo. 2014
 Gordoá Victor. "Imagen Vendedora". Ed. Debolsillo. 2015
 Hernandez Sampieri Roberto. "Metodología de la Investigación". Ed. Mc Graw Hill. 6ta Edición. 2014. México.
 Jaruffe & Pomares. «Programación neurolingüística. ¿Realidad o mito en Psicología y Ciencias Cognitivas?». Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud (Universidad del Magdalena). 2007
 Kernis, M. H. (2003). Toward a conceptualization of optimal self-esteem. *Psychological Inquiry*, 14, 1-26.
 O'Connor J & Seymour J. "Introducción a la Programación Neurolingüística" Ed. Urano, 1995.
 Perez de los Santos J. Eduardo. "PNL en educación y orientación escolar". Ed. Amapsi, 1996
 Roca, E. (2008). *Como mejorar tus habilidades sociales*. ACDE.
 Roca, E. (2012). *Autoestima sana. Una visión actual, basada en la investigación*. ACDE.
 Vargas Gaby. "El arte de convivir y la cortesía social". Ed. Punto de Lectura, 2015. Mexico
 Vargas Gaby. "Todo sobre la Imagen del éxito". Ed. Aguilar, 2006, Mexico.

VIII. BIOGRAFÍA



Meraz Salazar, Erika Alejandra. Nació en la Ciudad de Torreón, Coahuila el 14 de febrero de 1976. Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila en 1999, Maestra en Administración en Tecnologías de Información por el ITESM Campus Monterrey en el 2003, Doctora en Desarrollo Educativo por la Universidad Autónoma de la Laguna en el 2018.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la ciudad de Lerdo, Durango. así mismo ha trabajado en otras Universidades de la Región. Cuenta con vasta experiencia como consultora en la Industria en áreas referentes a mejora de proceso, innovación, Desarrollo Organización, Coaching y Desarrollo de Habilidades directivas, así como asesora en proyectos de innovación y desarrollo de nuevos productos. Ha impartido conferencias sobre diversos temas entre las que destaca: Imagen y Personalidad del directivo, Contratación por Competencias, PNL en la educación, Liderazgo Proactivo, Competencias Profesionistas en el Siglo XXI, Comunicación Efectiva, Capital Intelectual, Inteligencia Social, Protocolo Social y Protocolo en los Negocios, Reinventándose. Las áreas de interés de ella son: Innovación, Mejora de Proceso, Coaching, Desarrollo Organización, así como Inteligencias Múltiples, Programación Neurolingüística e Imagen personal.

La Dra. Meraz es miembro de la Asociación de Exatec, así como Evaluadora por parte de CACEI. Miembro de REDOLAC Red de Docentes de América Latina y el Caribe. Ha recibido diversos reconocimientos entre los que destacan Asesora en Proyectos del Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica en el 2015, 2016 y 2017 en su Etapa Local y Regional. Reconocimiento como Jurado del Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica en su Etapa Regional y Nacional en el 2015, 2016, 2017 y 2018.



García Cano Obed Antonio. Nacimiento en Durango, Dgo. El 16 de octubre de 1982. Ingeniero Mecánico, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, Dgo. México, 2005. Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica con especialización en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de Durango, Dgo, México, 2016.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico de Durango, como jefe de proyectos de vinculación en el Departamento de Metal Mecánica y es miembro del consejo consultivo del ENEIT. Es colaborador en la línea de investigación de Medios educativos del Departamento de Sistemas Computacionales y Diseño de productos mecatrónicas en el Departamento de Metal Mecánica.

M.C. García es SolidWorks Associate - Mechanical Design (C-QRHNSLSJUD), SolidWorks Professional - Mechanical Design (C-XYWJP7AZ59). Asesor del Proyecto ganador del primer lugar del ENEIT etapa nacional en la categoría proceso en 2018 en Tlalnepantla con el Proyecto de Proceso de obtención de bioplásticos a partir de nano partículas de Opuntia ficus indica, asesor del Proyecto ganador del Segundo lugar del Eneit Etapa Nacional 2018 en Tlalnepantla en la categoría Aplicaciones Móviles, Aplicación para mediar variables en tiempo real. Coordinador del ENEIT 2018 en septiembre de 2018 Zona I, realizada en Parral Chihuahua. Coordinador Nacional del ENEIT 2018 en Chihuahua, Chihuahua.



Chagolla Aguilar, Oscar Raziel. Nació en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 19 de septiembre de 1980. Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Chetumal en el 2002, Maestro en Teleinformática por la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas en el 2004.

Laboró en la Dirección de Vinculación e Intercambio Académico del Tecnológico Nacional de México en la Ciudad de México; en la Coordinación de dos programas el Evento Nacional de Innovación Estudiantil de Innovación Tecnológica y el Modelo Talento Emprendedor. Tiene una extensa experiencia en el diseño, desarrollo e implementación de proyectos del evento nacional de creatividad, emprendedores, así como ciencias básicas e innovación. Desarrollo el Sistema de Administración del Evento Nacional de Ciencias Básicas, así como el Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica. Por otra parte, también ha Coordinado el Evento a Nivel Nacional. Ha Impartido diversas conferencias con temas relativos a Comercio Electrónico, Telecomunicaciones, Proyectos de Creatividad, Aplicación de Tecnologías Web, Competitividad en México, Innovación Tecnológica, Seguridad Informática e Innovación.

MC Chagolla ha recibido diversos reconocimientos entre ellos destacan los siguientes: Participación como asesor en el Evento Nacional de Creatividad en su Etapa Nacional obteniendo el Primer Lugar Nacional en el área de Capacidades diferentes, Reconocimiento como asesor de proyectos que participaron en el Evento Nacional de Innovación Tecnológica 2011 en la etapa local y nacional, Reconocimiento como evaluador de la fase Nacional del Certamen Nacional de Emprendedores de la Fundación Educación Superior Empresa (FESE) durante el 2013, 2014 y 2015.

Simulación Transitoria de un Modelo Electromagnético Didáctico de Elemento Finito en 2D usando Software Libre

J. M. Díaz-Chacón¹, G. Cuevas-Ochoa¹, C. Amaro-Hernández¹, A. Navarro-Valle¹, V. Mata Brauer¹

□ **Resumen**— El Método del Elemento Finito es una de las herramientas más utilizadas para analizar el comportamiento de los fenómenos transitorios que ocurren en los dispositivos electromagnéticos. En el área académica, el desarrollo de simulaciones transitorias les permitirá a los estudiantes adquirir los conocimientos y las habilidades necesarias para llevar a cabo dichas tareas en el campo laboral. En este artículo se presenta el desarrollo de una simulación electromagnética transitoria de un modelo didáctico de Elemento Finito en Dos Dimensiones (2D). Esta simulación se basa en la ecuación de difusión electromagnética en el dominio del tiempo. La formulación matemática discreta, definida mediante el potencial magnético vectorial, también se describe de manera breve en este trabajo. Esta formulación se implementa mediante el software libre ONELAB. Los resultados obtenidos muestran que esta simulación se puede utilizar como plataforma de aprendizaje en el análisis de otros modelos electromagnéticos, alimentados por fuentes de corriente variantes en el tiempo, de manera confiable.

Palabras claves— Método del Elemento Finito, simulación transitoria, software libre, electromagnetismo.

Abstract—The Finite Element Method is one of the most widely used tools for analyzing the behavior of transient phenomena occurring in electromagnetic devices. In the academic area, the development of transient simulations will allow students to acquire the knowledge and skills necessary to carry out such tasks in the field. This article presents the development of a transient electromagnetic simulation of a two-dimensional (2D) Finite Element didactic model. This simulation is based on the equation of electromagnetic diffusion in the time domain. The discrete mathematical formulation, defined by the magnetic vector potential, is also briefly described in this paper. This formulation is implemented using the free software ONELAB. The results obtained show that this simulation can be used as a learning platform in the analysis of other electromagnetic models fed by current sources varying in time, in a reliable way.

Keywords— Finite Element Method, transient simulation, free software, electromagnetism.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las principales áreas de oportunidad para lograr el uso eficiente de la energía eléctrica es el diseño y optimización de las máquinas eléctricas, tales

como transformadores, generadores, motores, entre otros. Debido a esto, se desarrollan simulaciones aplicando diversas técnicas numéricas que permiten reducir los costos y a su vez, elevar la eficiencia de dichas máquinas.

La creación de nuevas tecnologías computacionales (hardware de alto desempeño) ha favorecido la implementación de estas técnicas numéricas a nivel industrial.

El Método del Elemento Finito (MEF) es un método numérico utilizado para el desarrollo de simulaciones de diversos fenómenos. Para el desarrollo matemático de este método se emplea el método variacional y el método de Galerkin. Este último es el método más usado por su versatilidad en su aplicación.

El MEF es una de las técnicas más utilizadas para el análisis y diseño de dispositivos electromagnéticos [1]-[3], tanto en estado estable como en régimen transitorio. Particularmente, el análisis electromagnético por computadora mediante el MEF se basa en la aplicación de las ecuaciones de Maxwell.

Debido a la importancia de la aplicación del MEF en el diseño de equipo eléctrico, existen una gran variedad de softwares con licenciamiento [4] o libres [5]. Uno de los softwares libres es ONELAB (por sus siglas en inglés Open Numerical Engineering LABORatory). ONELAB fue creado por C. Geuzaine y P. Dular, hace varias décadas [6]. Este software se ha utilizado para desarrollar simulaciones en diversas áreas de la ingeniería, tanto a nivel educativo como a nivel industrial.

ONELAB está compuesto de dos softwares: Gmsh y GetDP. Gmsh consiste en un generador de mallas de Elementos Finitos (EF), y está compuesto por cuatro módulos: geometría, malla, solución y post-procesamiento [7]. Por otro lado, GetDP se usa para implementar la formulación matemática del modelo a resolver y se incluye como parte del módulo de solución de Gmsh.

En este trabajo se presenta el desarrollo y solución de un modelo didáctico en el dominio del tiempo en Dos Dimensiones (2D) usando el software ONELAB. Este modelo didáctico es tomado de la literatura eléctrica y consta de una región conductora (placa), una región de aire y una bobina alimentada por corriente continua [8]-[9]. El objetivo de resolver este modelo es determinar las corrientes inducidas en la placa conductora del mismo.

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez S/N, Parcela 44, 21280 Mexicali, B.C.

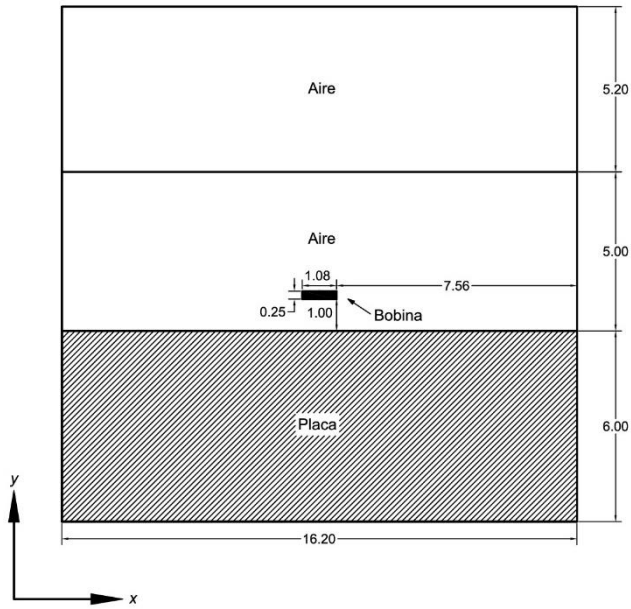


Figura 1. Vista del plano xy del modelo didáctico en 2D

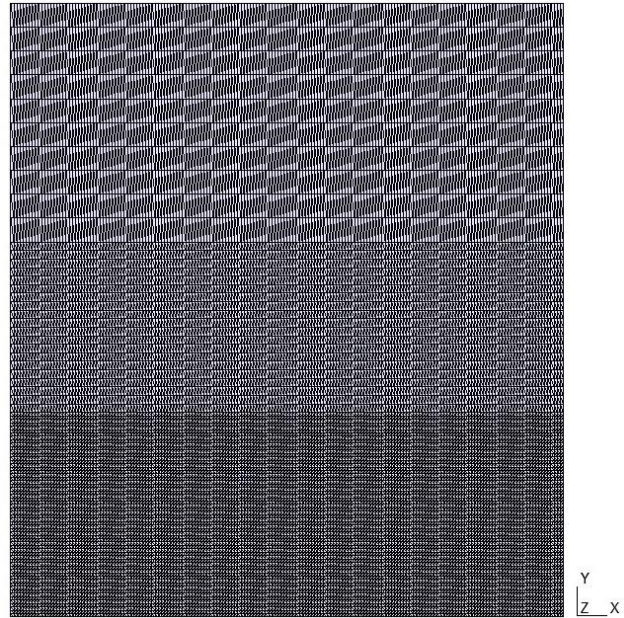


Figura 2. Malla del modelo didáctico en 2D

En este artículo se emplea la formulación electromagnética transitoria basada en el potencial magnético vectorial (A), la cual se discretiza usando elementos triangulares de segundo orden.

Cabe mencionar que el desarrollo de simulaciones electromagnéticas de segundo orden eleva el grado de confiabilidad de los resultados obtenidos.

La formulación magnetodinámica del potencial magnético vectorial (A) permite la obtención de las corrientes inducidas (conocidas también como corrientes de Foucault o corrientes de remolino) en regiones que presentan una alta conductividad.

II. DESARROLLO Y SOLUCIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO EN 2D

El MEF se compone de tres etapas principales: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento.

En la etapa de pre-procesamiento se lleva a cabo la creación del modelo geométrico y de la malla del modelo, donde a su vez, se incluyen las propiedades de los materiales y las condiciones de frontera.

En la etapa de procesamiento se realiza la implementación de la formulación discreta, la cual produce un sistema de ecuaciones dispersas a resolver.

Por último, en la etapa de post-procesamiento se obtienen los resultados derivados de la solución tanto gráficos como numéricos, los cuales permiten realizar un análisis posterior de los mismos.

En las siguientes subsecciones, se describen brevemente las etapas desarrolladas para simular un modelo didáctico en 2D, tomado de la literatura eléctrica, usando el software ONELAB.

A. Parámetros geométricos del modelo didáctico en 2D

Como primer paso, es necesario diseñar el modelo geométrico en 2D. En la Figura 1 se muestra los datos del modelo, proporcionados en milímetros. La geometría y malla del modelo se desarrolló en Gmsh.

B. Generación de la malla del modelo didáctico en 2D

En segundo lugar, se requiere generar la malla del modelo bajo estudio, la cual consiste en elementos triangulares de segundo orden.

En la Figura 2 se presenta la malla estructurada del modelo didáctico. En el eje x de la malla se definieron 180 segmentos equidistantes, mientras que en el eje y se utilizaron tres dimensiones de malla, correspondientes a las regiones aire (superior e inferior) y placa. El número de segmentos equidistantes en el eje y de la región superior de aire fue de 10, mientras que, en la región inferior de aire, que incluye la bobina, fue de 20 segmentos. Finalmente, la región de placa fue definida usando 60 segmentos.

C. Parámetros físicos del modelo didáctico en 2D

Posteriormente, se requieren incorporar los parámetros físicos de los materiales que caracterizan el modelo. En la Tabla I se muestran los parámetros físicos del modelo.

Tabla I
Parámetros físicos del modelo didáctico

Parámetro	Valor
Conductividad de la placa (S/m)	3.5×10^7
Densidad de corriente continua en la bobina (A/m^2)	25
Permeabilidad relativa (aire, placa y bobina)	1

D. Formulación magnetodinámica A del modelo didáctico en 2D

En este artículo, el modelo didáctico es simulado aplicando la formulación magnetodinámica A, basada en la ecuación de la difusión electromagnética en el dominio del tiempo. Para desarrollar esta formulación se requiere la aplicación de las ecuaciones de Maxwell, dadas por:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \tag{1}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{2}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{3}$$

donde \vec{H} es la intensidad de campo magnético (A/m), \vec{J} representa la densidad de corriente eléctrica (A/m²), \vec{D} define la densidad de campo eléctrico (V/m²), \vec{B} es la densidad de flujo magnético (T) y \vec{E} denota el campo eléctrico (V/m).

Para el desarrollo de la formulación A, se requiere también utilizar la relación constitutiva:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \tag{4}$$

donde μ es la permeabilidad magnética (H/m).

En la ecuación (1), el término de la corriente de desplazamiento se desprecia en el análisis de los fenómenos electromagnéticos de bajas frecuencias. Por lo tanto, se obtiene:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \tag{5}$$

Usando la ecuación (2) y aplicando una identidad vectorial se obtiene (6), donde \vec{A} define el potencial magnético vectorial.

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{B} \tag{6}$$

Sustituyendo y reacomodando (4) y (6) en (5), se obtiene:

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \vec{J} \tag{7}$$

donde:

$$\vec{J} = \vec{J}_s + \vec{J}_e \tag{8}$$

\vec{J}_s es la densidad de corriente impuesta y \vec{J}_e representa la densidad de corriente inducida en los materiales conductores, definida por:

$$\vec{J}_e = -\sigma \left[\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla V \right] \tag{9}$$

donde σ es la conductividad eléctrica del material (S/m).

Para este artículo se considera el término $\nabla V = 0$, debido a que el campo eléctrico en el conductor sólo es generado por la variación en el tiempo de la densidad de flujo magnético, por lo que se obtiene:

$$\vec{J}_e = -\sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \tag{10}$$

Sustituyendo (10) y (8) en (7), se obtiene la ecuación de difusión electromagnética, dada por:

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times (\nabla \times \vec{A}) + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{J}_s = 0 \tag{11}$$

Si el dominio de estudio es el plano bidimensional (2D), sólo se consideran existente las componentes en el eje z tanto del potencial magnético vectorial como de las densidades de corriente aplicada e inducida. Considerando lo anterior y aplicando una identidad vectorial al primer término del lado izquierdo de (11), se puede obtener:

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} (\nabla \times \vec{A}) = -\frac{1}{\mu} \nabla \cdot \nabla A_z \dots \dots \dots (12)$$

Por lo tanto, la ecuación de difusión en 2D se puede escribir como:

$$\nabla \cdot \frac{1}{\mu} \nabla A_z - \sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} + J_z = 0 \dots \dots \dots (13)$$

donde A_z y J_z son las componentes en el eje z del potencial magnético vectorial y de la densidad de corriente aplicada, respectivamente.

Para obtener la formulación electromagnética transitoria discreta en 2D, se aplica el método de Galerkin, dado por (14), a la ecuación (13), de la cual se obtiene (15).

$$\int_{\Omega} N R d\Omega = 0 \tag{14}$$

$$\int_{\Omega} \nabla N \cdot \frac{1}{\mu} \nabla A_z d\Omega + \int_{\Omega_c} N \cdot \sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} d\Omega_c - \int_{\Omega_s} N \cdot J_z d\Omega_s = 0 \tag{15}$$

donde N es la función de forma y Ω es el dominio de estudio mientras que Ω_c y Ω_s representan la región conductora (placa) y la región de fuente de corriente impuesta (bobina), respectivamente. La ecuación (15) se implementa en la etapa de procesamiento mediante el uso del software GetDP usando el método de Euler ($\Theta = 1$). Las condiciones de frontera han sido omitidas en las ecuaciones anteriores para facilitar la descripción de este trabajo.

III. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DIDÁCTICO

Para llevar a cabo la simulación del modelo didáctico en 2D, se utilizó un equipo de cómputo Server Dell PowerEdge T630, Intel(R) Xeon(R), 1.60 GHz, 16 GB RAM. El tiempo final de la simulación se definió para lograr el estado estable. En las Figuras 3-6 se muestran las distribuciones del potencial magnético vectorial de la simulación del modelo en 2D usando el software ONELAB en distintos tiempos. Es posible visualizar el incremento de la distribución del potencial magnético vectorial, además, se puede observar que en la región de la bobina se ubica la mayor concentración del potencial magnético.

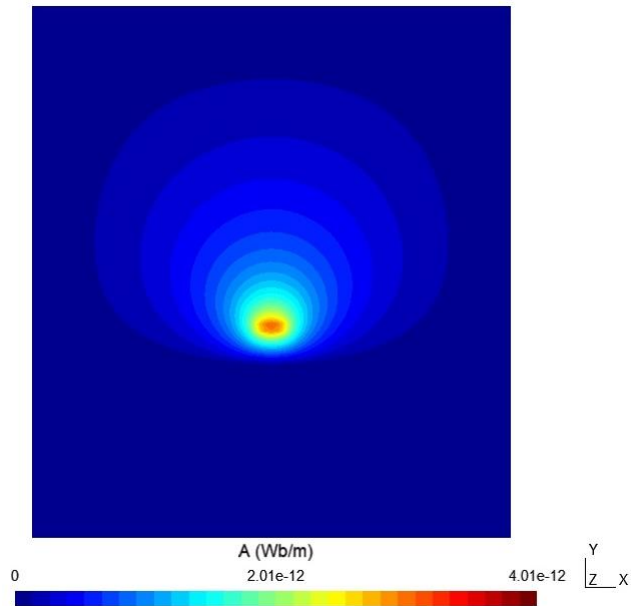


Figura 3. Distribución del potencial magnético vectorial en 1 μ S

En las Figuras 7-8 se presenta la magnitud de la corriente inducida en la placa. Se puede observar que la magnitud de la corriente inducida decae de manera exponencial conforme aumenta la profundidad de la placa y transcurre el tiempo de solución. A su vez, en la Tabla II se presentan algunos parámetros de solución del modelo.

En las Figuras 9-11 se presenta la distribución de corrientes inducidas en la placa en diferentes instantes de tiempo.

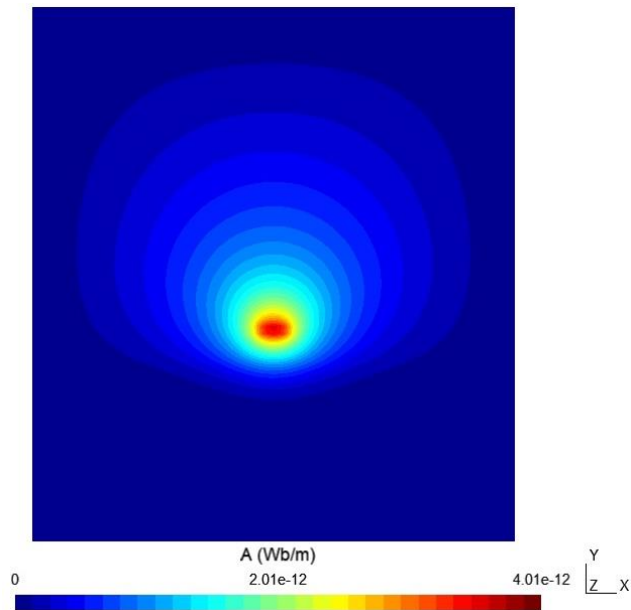


Figura 4. Distribución del potencial magnético vectorial en 20 μ S

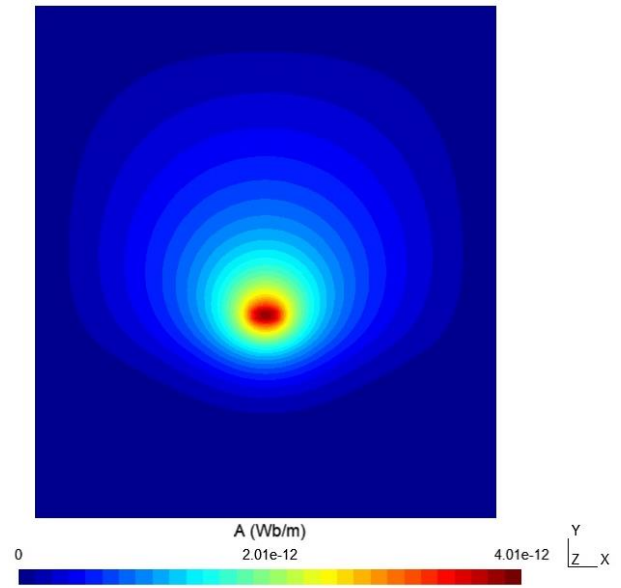


Figura 5. Distribución del potencial magnético vectorial en 60 μ S

Tabla II
Parámetros de solución del modelo didáctico en 2D

Tiempo de solución (s)	1382.58
Número de elementos triangulares de la malla	32400

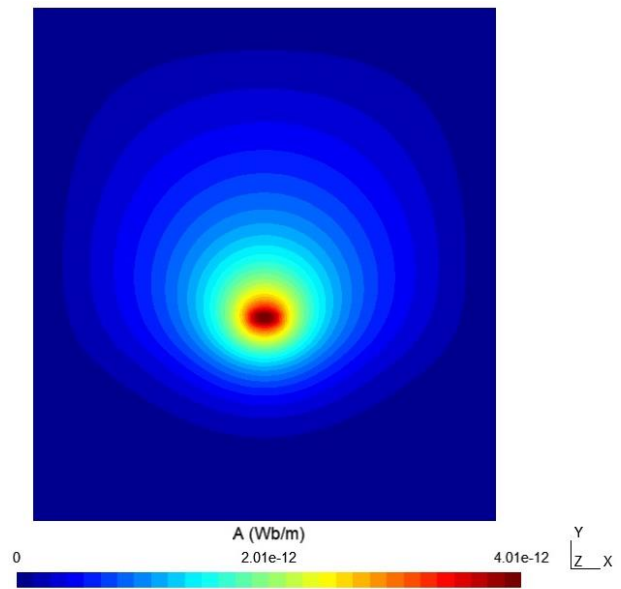


Figura 6. Distribución del potencial magnético vectorial en 100 μ S

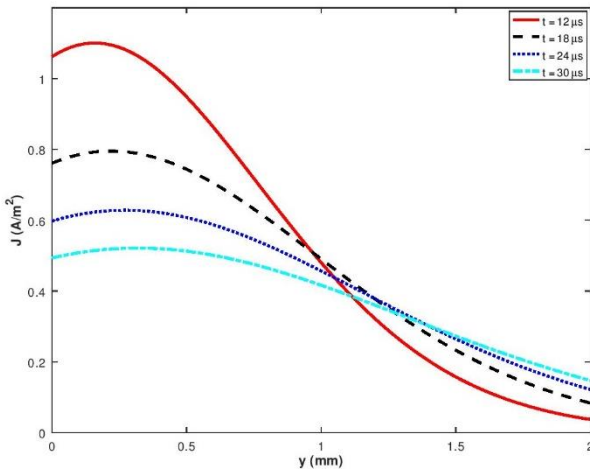


Figura 7. Magnitud de la corriente inducida en la placa a lo largo del eje y en cuatro diferentes instantes de tiempo ($x = 0$)

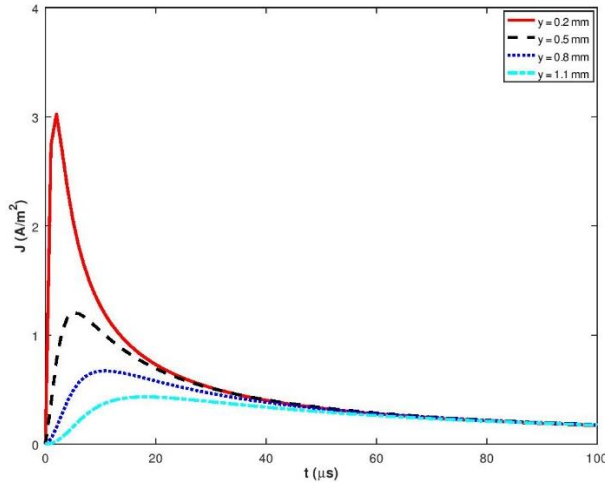


Figura 8. Magnitud de las corrientes inducida en la placa a lo largo del tiempo de solución en cuatro diferentes puntos del eje y ($x = 0$)

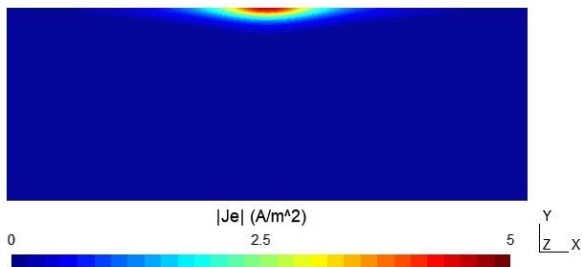


Figura 9. Distribución de las corrientes inducidas en la placa en 1 μ S

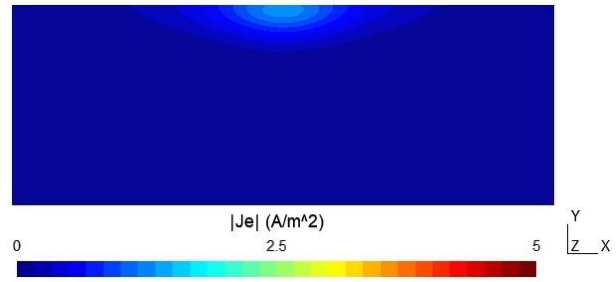


Figura 10. Distribución de las corrientes inducidas en la placa en 10 μ S

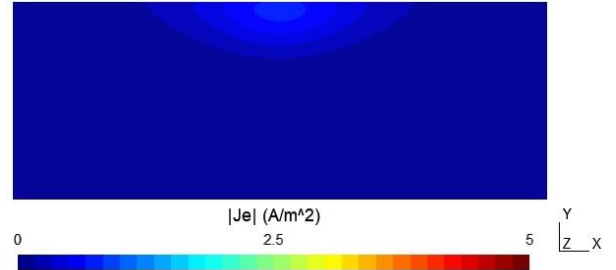


Figura 11. Distribución de las corrientes inducidas en la placa en 20 μ S

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo se presentó el desarrollo de una simulación magnetodinámica de un fenómeno transitorio en 2D, usando el software libre ONELAB mediante el uso de elementos triangulares de segundo orden. Los resultados obtenidos en la solución son similares a los presentados en la literatura eléctrica. Con esto se ha demostrado la confiabilidad del software ONELAB para el desarrollo de simulaciones electromagnéticas transitorias en 2D. Esta simulación puede ser utilizada como plataforma por estudiantes de posgrado, para verificar el comportamiento de los materiales conductores en el dominio del tiempo.

V. REFERENCIAS

- [1] Georgilakis, P. S. (2009). *Spotlight on Modern Transformer Design*. Greece: Springer Verlag.
- [2] Dilasser, G., Fazilleau, P., y Tixador, P. (2017). "Experimental measurement and numerical simulation of the screening current-induced field decay in a small ReBCO coil," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 27.
- [3] Hagness, S. C., Taflove, A., y Gedney, S. D. (2005). *Numerical Methods in Electromagnetics*. Troy, New York: Academic Press.
- [4] Sabonnadiere, J.C. y Konrad, A. (1992). "Engineering software-computing EM fields," *IEEE Spectrum*, vol. 29, 52-56.
- [5] Bonneel, P., Besnerais, J. L., Pile, R., y Devillers, E. (2018). "Pyleecan: an open-source Python object-oriented software for the multiphysic design optimization of electrical machines," *2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*. 948-954.
- [6] Geuzaine, C., Sabariego, R., Geuzaine, C., y Marchandise, E. (2013). "Open Numerical Engineering LABoratory," *11e Colloque National En Calcul Des Structures*.
- [7] Shchuchkin, D. A., Khoroshev, A. S., Y Pavlenko, A. V. (2017). "Application of GMSH + GetDP software suite for calculation of non-stationary electromagnetic fields of electrical devices," *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*.

- [8] Ludwig, R. (1990). "Numerical and analytical modeling of pulsed eddy currents in a conducting half-space," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 26(1), 299-307.
- [9] Ovando-Martínez, R.B.B., Arjona López, M. A., y Hernández Flores, C. (2012). "A finite-element variable time-stepping algorithm for solving the electromagnetic diffusion equation," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 48(2), 647-650.

VI. BIOGRAFÍA



Díaz Chacón Juan Mauricio nació en Torreón, Coah., México en 1983. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en 2006 por parte del Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah., México, y los grados de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Ingeniería de Potencia, en 2010 y 2013, respectivamente, por parte de la misma Institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México. Sus áreas principales de interés son la aplicación de técnicas numéricas computacionales en el modelado y análisis de máquinas eléctricas, especialmente transformadores.

El Dr. Díaz cuenta con el perfil deseable PRODEP.



Cuevas Ochoa Guillermo nació en Luis B. Sánchez, Sonora, México en 1994. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en 2018 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C., México.

Él actualmente cursa la maestría en Ciencias de la Ingeniería en la misma institución. Sus áreas de interés son el diseño de instalaciones eléctricas en baja tensión, el modelado numérico de máquinas eléctricas, principalmente en transformadores y el desarrollo de instrumentos virtuales aplicados a la Ingeniería Eléctrica.



Amaro Hernández César nació en Mexicali, B. C., México en 1965. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en 1989 en la ciudad de Mexicali, B.C., México. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Electrónica en el área de instrumentación y control en 2002 y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en el área de instrumentación y metrología en 2009, ambos dentro de la mencionada Institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas de interés son el análisis de circuitos eléctricos, instrumentación y control, y la adquisición y procesamiento de datos.

El Dr. Amaro cuenta con el perfil deseable PRODEP.



Navarro Valle Alberto nació en Culiacán, Sinaloa, México en 1963. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en 1986 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C., México. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Procesos Industriales, en 2008, por parte de la misma Institución, y el grado de Doctor en Educación, en 2015, por parte del Centro Universitario de Tijuana, en Mexicali, B.C., México.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B. C., México. Sus áreas principales de interés son los procesos industriales aplicados a la ingeniería eléctrica y el desarrollo en los estudiantes de competencias profesionales y académicas.

El Dr. Navarro cuenta con el perfil deseable PRODEP.



Mata Brauer Víctor nació en Coatzacoalcos, Ver., México en 1961. Obtuvo el título de Ing. Mecánico Electricista en 1987 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C., México y el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la misma Institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas principales de interés son el control y pruebas a máquinas eléctricas, especialmente motores de inducción.

El M. I. Mata cuenta con el perfil deseable PRODEP.

Simulación Magnetodinámica del Modelo de Validación TEAM 7 usando Software Libre de Elemento Finito en 3D

G. Cuevas-Ochoa¹, J. M. Díaz-Chacón¹, C. Amaro-Hernández¹, A. Navarro-Valle¹, P. F. Rosales-Escobedo¹

□ **Resumen**— En este artículo se presenta la simulación magnetodinámica del modelo de validación TEAM 7 mediante la aplicación del Método del Elemento Finito (MEF) en Tres Dimensiones (3D). Para llevar a cabo la simulación se utiliza la formulación A-V (potencial magnético vectorial - potencial eléctrico escalar), la cual se basa en elementos de arista y nodales de primer orden. Dicha formulación también se describe brevemente en este trabajo. Para la generación de la geometría y de la malla del modelo y la implementación de la formulación se utiliza el software libre ONELAB. Finalmente se desarrolla un análisis comparativo entre la solución obtenida de la simulación y los datos experimentales, recabados de la literatura eléctrica. Los resultados obtenidos demuestran la confiabilidad de la simulación desarrollada para el análisis de modelos electromagnéticos, alimentados por fuentes de corriente sinusoidales. Esta simulación puede ser utilizada por estudiantes de posgrado como plataforma para el desarrollo de simulaciones de otros dispositivos eléctricos de baja frecuencia en estado estacionario.

Palabras claves— Simulación magnetodinámica, Método del Elemento Finito, software libre, formulación A-V, electromagnetismo.

Abstract—In this article is presented the magnetodynamic simulation of the TEAM 7 validation model by applying the Finite Element Method (FEM) in Three Dimensions (3D). To carry out the simulation, the A-V formulation (magnetic vector potential - electric vector potential) is used, which is based on first-order edge and nodal elements. This formulation is also described briefly in this work. For the generation of the geometry and mesh of the model and the implementation of the formulation, the free software ONELAB is used. Finally, a comparative analysis is developed between the solution obtained from the simulation and the experimental data acquire from the electrical literature. The results obtained demonstrate the reliability of the simulation developed for the analysis of electromagnetic models fed by sinusoidal current sources. This simulation can be used by graduate students as a platform for the development of simulations of other low-frequency steady-state electrical devices.

Keywords— Magnetodynamic simulation, Finite Element Method, free software, A-V formulation, electromagnetism.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de varias décadas, la aplicación de métodos numéricos para el desarrollo de diseños eficientes de diversas máquinas eléctricas, a nivel industrial, ha evolucionado considerablemente.

Con la finalidad de reducir la cantidad de prototipos fallidos, las empresas desarrollan simulaciones para modelar equipos eléctricos tales como transformadores, motores y generadores, entre otros [1]. En electromagnetismo se utilizan las ecuaciones diferenciales de Maxwell para describir el comportamiento tanto eléctrico como magnético de los equipos, antes mencionados.

La implementación de metodologías numéricas ha sido mejorada por la creación de nuevas tecnologías computacionales (hardware de alto desempeño).

Uno de los métodos numéricos más utilizados en la actualidad para el desarrollo de simulaciones por computadora de diversos fenómenos físicos es el Método del Elemento Finito (MEF) [2]-[3]. En el área de la ingeniería eléctrica, el modelado electromagnético en bajas frecuencias es comúnmente utilizado para el análisis y diseño de equipos eléctricos industriales [4]-[5]. Debido a lo anterior, existe una gran variedad de software comercial, utilizado para llevar a cabo el análisis del MEF en máquinas eléctricas. Algunos de estos softwares son ANSYS, FLUX, COMSOL, entre otros [6]. Como alternativa de costo se han desarrollado también softwares libres para la aplicación del MEF en electromagnetismo. P. Bonneel y su equipo hacen referencia a diversos softwares libres usados para el modelado de máquinas eléctricas [7]. ONELAB (por sus siglas en inglés Open Numerical Engineering LABoratory) es uno de los softwares presentados en la referencia, antes mencionada.

ONELAB surgió hace varias décadas y fue desarrollado por C. Geuzaine y P. Dular. Este software puede ser utilizado en el ámbito educativo e industrial de diversas áreas de la ingeniería [8]. Particularmente, ONELAB se ha aplicado en varios trabajos relacionados con electromagnetismo [4], [9]-[12].

ONELAB se compone, a su vez, de dos softwares: Gmsh y GetDP.

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez S/N, Parcela 44, 21280 Mexicali, B.C.

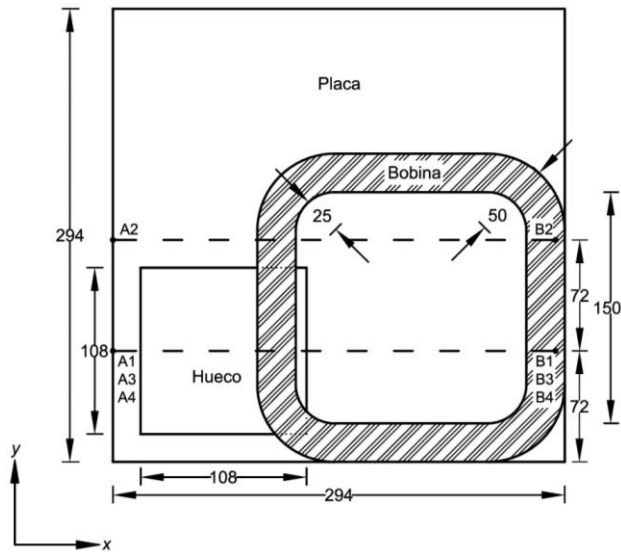


Figura 1. Vista del plano xy del modelo TEAM 7

Gmsh es un generador de mallas de elementos finitos y se constituye de cuatro módulos: geometría, malla, solución y post-procesamiento [13]. Por otra parte, GetDP se utiliza para la implementación de las formulaciones matemáticas de los modelos y se encuentra incorporado dentro del módulo de solución de Gmsh [14].

Sin embargo, una de las principales desventajas del software libre en general, es su carencia de etapas de validación en su aplicación. Para llevar a cabo la verificación de este tipo de software se pueden utilizar modelos de validación presentados en la literatura eléctrica tales como el modelo TEAM 7 (por sus siglas en inglés Testing Electromagnetic Analysis Methods). Este modelo consiste en una placa de aluminio con un hueco sobre la cual se induce un campo electromagnético generado por una bobina excitada con una fuente de corriente sinusoidal de baja frecuencia [15]-[18].

En este artículo se presenta el desarrollo y solución del modelo de validación TEAM 7 usando el software ONELAB, con la finalidad de evaluar su desempeño. En este trabajo sólo se presenta la simulación de este modelo bajo una frecuencia de 200 Hz.

II. DESARROLLO Y SOLUCIÓN DEL MODELO DE VALIDACIÓN TEAM 7

El MEF se conforma de 3 fases fundamentales: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento.

La fase de pre-procesamiento consiste en la generación de la geometría y de la malla del modelo, donde a su vez, se incorporan las características físicas y condiciones de frontera del modelo a resolver.

En la fase de procesamiento se implementa la formulación matemática y se realiza la solución del sistema de ecuaciones resultante.

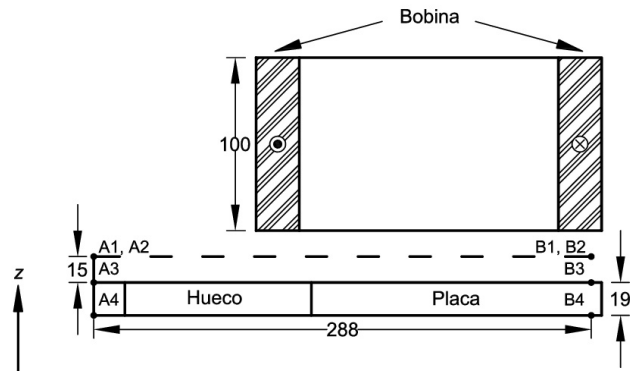


Figura 2. Vista del plano xz del modelo TEAM 7

Finalmente, en la fase de post-procesamiento se realiza el despliegue gráfico y/o numérico de los resultados obtenidos del modelo para su posterior análisis e interpretación.

A continuación, se describen las etapas realizadas para simular el modelo de validación TEAM 7 usando el software ONELAB.

A. Parámetros geométricos del modelo TEAM 7

En primer lugar, para simular el modelo TEAM 7 se requiere crear la geometría del mismo. La geometría del modelo, dada en milímetros, se muestra en las Figuras 1 y 2, la cual se realizó utilizando el software Gmsh.

B. Generación de la malla tridimensional del modelo TEAM 7

En segundo lugar, se debe realizar la malla del modelo bajo estudio, la cual en este trabajo se constituye de elementos tetraédricos de primer orden. Esto es con la finalidad de discretizar el modelo en las regiones que presentan curvas geométricas, de manera conveniente.

En la Figura 3 se muestra la malla del modelo de validación TEAM 7 generada mediante el software Gmsh, donde sólo se visualiza la bobina y la placa del mismo para brindar mayor claridad.

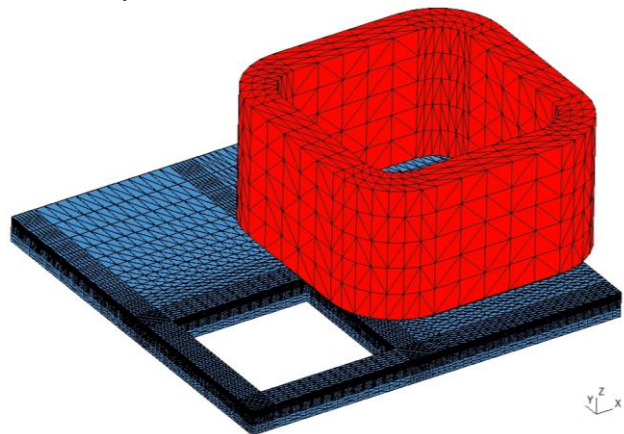


Figura 3. Malla del modelo TEAM 7 (se omite la región exterior de aire)

C. *Parámetros físicos del modelo TEAM 7*

Posteriormente, se necesitan incorporar las propiedades físicas del modelo. En la Tabla I se muestran los parámetros físicos utilizados en el modelo TEAM 7. Se puede observar también en la Figura 2, que la densidad de corriente eléctrica se ha considerado en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Tabla I
Parámetros físicos del modelo TEAM 7

Parámetro	Valor
Conductividad de la placa (S/m)	3.5x10 ⁷
Conductividad de la bobina (S/m)	5.8x10 ⁷
Corriente de excitación en la bobina (Ampere Vueltas)	2742
Permeabilidad relativa (aire, placa y bobina)	1

D. *Formulación magnetodinámica A-V del MEF en 3D*

En este artículo, el modelo TEAM 7 se simula usando la formulación magnetodinámica A-V (potencial magnético vectorial - potencial eléctrico escalar). Para desarrollar esta formulación se requiere de las ecuaciones de Maxwell en forma diferencial, las cuales se describen por:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

donde \vec{H} representa la intensidad de campo magnético (A/m), \vec{J} es la densidad de corriente eléctrica (A/m²), \vec{D} es la densidad de campo eléctrico (V/m²), \vec{B} es la densidad de flujo magnético (T) y \vec{E} define el campo eléctrico (V/m).

Para el desarrollo de la formulación también se utiliza la relación constitutiva de electromagnetismo:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (4)$$

donde μ es la permeabilidad magnética (H/m).

Usando la ecuación (2) y aplicando una identidad vectorial se obtiene (5), donde \vec{A} representa el potencial magnético vectorial.

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{B} \quad (5)$$

En la ecuación (1), el segundo término del lado derecho se desprecia en el modelado de bajas frecuencias. Por lo tanto, se obtiene que:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (6)$$

Sustituyendo y reacomodando (4) y (5) en (6), se obtiene la ecuación (7), donde \vec{J} se define por (8).

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \vec{J} \quad (7)$$

$$\vec{J} = \vec{J}_s + \vec{J}_e \quad (8)$$

donde \vec{J}_s representa la densidad de corriente de la fuente y se define por (9), y \vec{J}_e es la densidad de corriente inducida que, a su vez, se define por (10)

$$\vec{J}_s = \nabla \times \vec{H}_s \quad (9)$$

$$\vec{J}_e = -\sigma \left[\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla V \right] \quad (10)$$

donde σ es la conductividad eléctrica del material (S/m) y \vec{H}_s representa el campo magnético en la bobina, el cual, en este trabajo, se obtiene utilizando la técnica de árbol, descrita brevemente en la subsección E.

Sustituyendo (9) y (10) en (7), se obtiene la ecuación de difusión electromagnética, dada por:

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times [\nabla \times \vec{A}] + \sigma \left[\nabla V + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right] = \vec{J}_s \quad (11)$$

A su vez, se aplica la divergencia a (9) obteniendo la ecuación de continuidad, dada por:

$$\nabla \cdot \sigma \left[\nabla V + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right] = 0 \quad (12)$$

Para desarrollar la formulación A-V en el dominio de la frecuencia, sólo se sustituyen las derivadas parciales en el tiempo por su equivalente $j\omega$, donde j representa el número imaginario y ω denota la frecuencia angular.

Para obtener la formulación discreta A-V, se aplica el método de residuos ponderados de Galerkin, dado por (13), a las ecuaciones de difusión y de continuidad, dadas por (11) y (12), respectivamente, de las cuales se obtienen (14) y (15), correspondientemente [19]:

$$\int_{\Omega} \vec{W} R d\Omega \quad (13)$$

$$\frac{1}{\mu} \int_{\Omega} \nabla \times \vec{W} \cdot \nabla \times \vec{A} d\Omega + \int_{\Omega_c} j\omega \sigma \vec{W} \cdot \vec{A} d\Omega_c \quad (14)$$

$$+ \int_{\Omega_c} \sigma \vec{W} \cdot \nabla V d\Omega_c - \int_{\Omega_s} \vec{W} \cdot \vec{J} d\Omega_s = 0$$

$$\int_{\Omega_c} \nabla W \cdot \sigma (j\omega \vec{A} + \nabla V) d\Omega_c = 0 \quad (15)$$

Las ecuaciones (14) y (15) se implementan en la etapa de procesamiento mediante el uso del software GetDP, donde \vec{W} representa la función de forma vectorial y donde W denota la función de forma escalar. Ω es el dominio de interés, y Ω_c y Ω_s representan la región conductora y la región de corriente aplicada (libre de corrientes inducidas), respectivamente. En estas ecuaciones se omiten las condiciones de frontera, las cuales deben ser establecidas en la etapa de pre-procesamiento.

E. *Técnica de árbol.*

En este artículo se utiliza la técnica de árbol, implementada en ONELAB, para asegurar la condición de la divergencia cero en la bobina y para la imposición de una norma en la solución. Esta técnica consiste en considerar un

conjunto de elementos de arista que unen los nodos de la malla del modelo sin crear una trayectoria cerrada. Los elementos de arista que no son considerados generan el llamado co-árbol [20]-[21].

III. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO TEAM 7

En la Tabla II se muestran las líneas utilizadas para la obtención de los resultados, correspondientes a las variables de interés del modelo de validación TEAM 7. Las variables deseadas son la componente en el eje z de la densidad de flujo magnético (B_z), y la componente en el eje y de la densidad de corriente inducida (J_y). Estas líneas también se indican en las Figuras 1 y 2.

Tabla II
Variables físicas a obtener del modelo TEAM 7 y sus correspondientes líneas

Parámetro	Línea
B_z (T)	A1-B1
	A2-B2
J_y (A/m ²)	A3-B3
	A4-B4

Para realizar la simulación del modelo de validación TEAM 7 usando la formulación A-V, implementada en GetDP, se requiere de una gran cantidad de recurso computacional. Esto es debido a que la discretización de la malla debe ser considerable para obtener resultados confiables. En la Tabla III se despliegan algunos parámetros de solución de este modelo.

Tabla III
Parámetros de solución del modelo TEAM 7

Número de elementos desconocidos (elementos de arista y elementos nodales)	715,210
Tiempo de solución (s)	4689.96
Número de tetraedros de la malla	678,321

Para llevar a cabo la simulación del modelo TEAM 7, se utilizó un equipo de cómputo Server Dell PowerEdge T630, Intel(R) Xeon(R), 1.60 GHz, 16 GB RAM.

En la Figura 4 se muestra la parte real de la distribución de la densidad de corriente inducida en la componente del eje y en la placa, obtenida de la simulación del modelo TEAM 7. Se puede visualizar la ubicación donde la densidad de corriente es nula. Además, se pueden apreciar los puntos donde se presenta la mayor densidad de corriente inducida.

En las Figuras 5-8 se presentan los resultados obtenidos de la simulación, en comparación con los datos proporcionados en la referencia [15]. Se puede observar que los resultados se aproximan de manera aceptable a las mediciones dadas por la referencia.

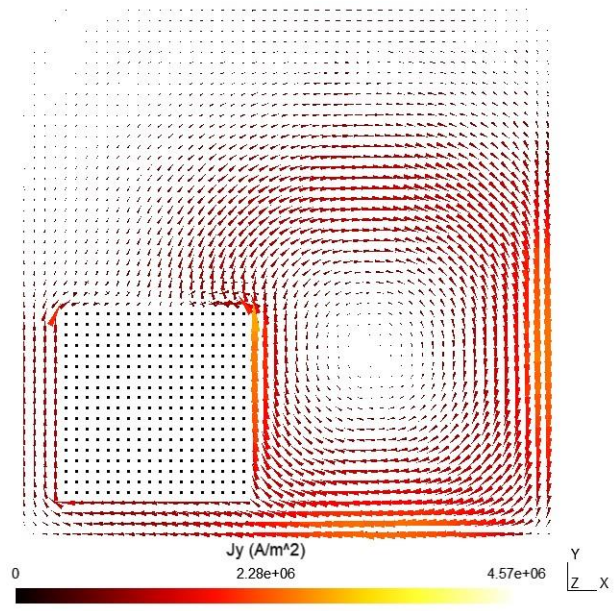


Figura 4. Parte real de la distribución de la componente en el eje y de la densidad de corriente inducida en la placa

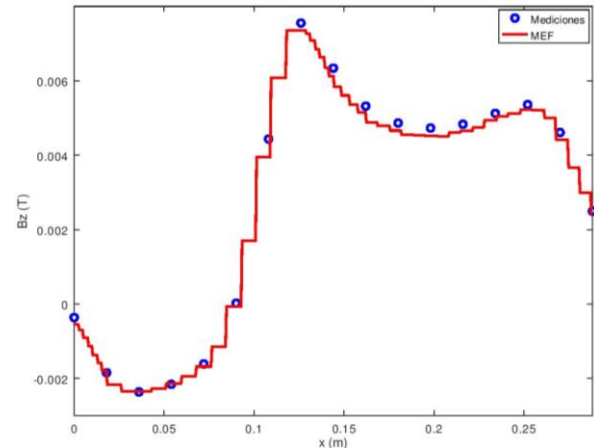


Figura 5. Componente en el eje z de la densidad de flujo magnético en la línea A1-B1

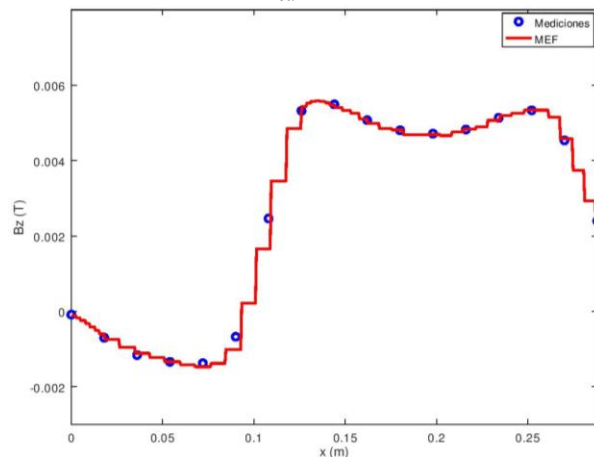


Figura 6. Componente en el eje z de la densidad de flujo magnético en la línea A2-B2

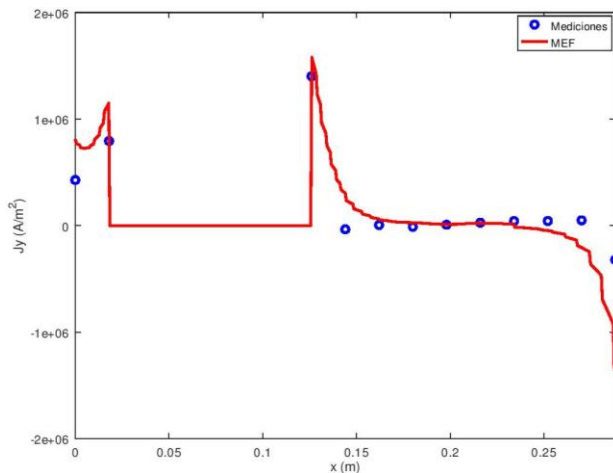


Figura 7. Componente en el eje y de la densidad de corriente inducida en la línea A3-B3

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo fue realizada la simulación del modelo de validación internacional TEAM 7 usando el software libre ONELAB. Esta simulación se basa en la implementación de la formulación discreta A-V en dicho software. Los resultados obtenidos de esta simulación se aproximan a las mediciones presentadas en la literatura [15]. Con esto se demuestra la confiabilidad del software ONELAB para el desarrollo de simulaciones electromagnéticas en 3D en bajas frecuencias y en estado estable, mediante el uso de elementos tetraédricos de primer orden. Esta simulación se puede utilizar como plataforma para la solución de otros modelos magnetodinámicos en estado estable de dispositivos electromagnéticos tales como transformadores, generadores y motores eléctricos.

V. REFERENCIAS

- [1] Smajic, J. (2016). How to Perform Electromagnetic Finite Element Analysis. NAFEMS.
- [2] Dilasser, G., Fazilleau, P., y Tixador, P. (2017). "Experimental measurement and numerical simulation of the screening current-induced field decay in a small ReBCO coil," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 27.
- [3] Sadiku, M. N. O. (1989). "A simple introduction to finite element analysis of electromagnetic problems," *IEEE Transactions on Education*, vol. 32(2), 85-93.
- [4] Bastos, J. P. A. y Sadowski, N. (2014). *Magnetic Materials and 3D Finite Element Modeling*. London: CRC Press
- [5] Hagness, S. C., Taflove, A., y Gedney, S. D. (2005). *Numerical Methods in Electromagnetics*. Troy, New York: Academic Press.
- [6] Sabonnadiere, J.C. y Konrad, A. (1992). "Engineering software-computing EM fields," *IEEE Spectrum*, vol. 29, 52-56.
- [7] Bonneel, P., Besnerais, J. L., Pile, R., y Devillers, E. (2018). "Pyleecan: an open-source Python object-oriented software for the multiphysics design optimization of electrical machines," *2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*. 948-954.

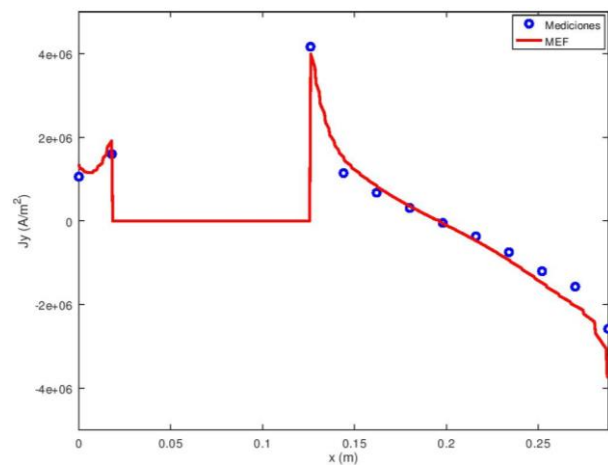


Figura 8. Componente en el eje y de la densidad de corriente inducida en la línea A4-B4

- [8] Geuzaine, C., Sabariego, R., Geuzaine, C., y Marchandise, E. (2013). "Open Numerical Engineering LABORatory," *11e Colloque National En Calcul Des Structures*.
- [9] Shchuchkin, D. A., Khoroshev, A. S., Y Pavlenko, A. V. (2017). "Application of GMSH + GetDP software suite for calculation of non-stationary electromagnetic fields of electrical devices," *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*.
- [10] Díaz-Chacón, J. M., Hernández, C. A., Brauer, V. M., Valle, A. N., Ovando-Martínez, R. B. B., y Adeniyi, A. A. (2017). "Development of a didactic set of 3D-FEM magnetostatic simulations by using a free software," *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*.
- [11] Díaz Chacón, J. M., Mata Brauer, V., Amaro Hernández, C., y Navarro Valle, A. (2016). "Desarrollo de simulaciones electromagnéticas con fines didácticos usando un software libre de elementos finitos 2D," *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. 236-241.
- [12] Díaz Chacón, J. M., Mata Brauer, V., Amaro Hernández, C., Navarro Valle, A., y Cuevas Ochoa, G. (2018). "Aplicaciones didácticas basadas en el método del elemento finito en 2D empleadas para determinar las pérdidas parásitas en placas conductoras de configuraciones de buses," *Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2018*. 7493-7504.
- [13] Geuzaine, C. y Remacle, J. (2009). "Gmsh: A 3-D finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities," *Int. J. Numer. Meth. Eng.* 2009, vol. 79, 1309-1331.
- [14] Dular, P. y Geuzaine, C. (1998). "A general environment for the treatment of discrete problems and its application to the finite element method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34(5), 3395-3398.
- [15] "TEAM Workshop Problem 7: asymmetrical conductor with a hole".
- [16] Kov, G. (2011). "Solution of the TEAM workshop problem no. 7 by the finite element method," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, vol. 87(3), 99-102.
- [17] Biro, O., Preis, K., Renhart, W., Richter, K. R., & Vrisk, G. (1990). "Performance of different vector potential formulations in solving multiply connected 3-D eddy current problems," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 26(2), 438-441.
- [18] Tsuboi, H., Tanaka, M., Ikeda, K., y Nishimura, K. (2001). "Computation results of the TEAM workshop problem 7 by finite element methods using tetrahedral and hexahedral elements," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 108(2), 237-240.
- [19] E. E. Kriezis, H. D. Tsiboukis, S. M. Panas, and J. A. Tegopoulos. (1992). "Eddy currents: theory and applications," *Proc. IEEE*, vol. 80(10), 1559-1589.

- [20] Dular, P., Nicolet, A., Genon, A. y Legros, W. (1995). "A discrete sequence associated with mixed finite elements and its gauge condition for vector potentials," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 31(3), 1356-1359.
- [21] Meunier, G. (2008). *The Finite Element Method for Electromagnetic Modeling*. London: Wiley.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B. C., México. Sus áreas principales de interés son los procesos industriales aplicados a la ingeniería eléctrica y el desarrollo de competencias profesionales y académicas en los estudiantes.

El Dr. Navarro cuenta con el perfil deseable PRODEP.

VI. BIOGRAFÍA



Cuevas Ochoa Guillermo nació en Luis B. Sánchez, Sonora, México en 1994. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en 2018 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C., México.

Él actualmente cursa la maestría en Ciencias de la Ingeniería en la misma institución. Sus áreas de interés son el diseño de instalaciones eléctricas en baja tensión, el modelado numérico de máquinas eléctricas, principalmente en transformadores y el desarrollo de instrumentos virtuales aplicados a la Ingeniería Eléctrica.



Díaz Chacón Juan Mauricio nació en Torreón, Coah., México en 1983. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en 2006 por parte del Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah., México, y los grados de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Ingeniería de Potencia, en 2010 y 2013, respectivamente, por parte de la misma Institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México. Sus áreas principales de interés son la aplicación de técnicas numéricas computacionales en el modelado y análisis de máquinas eléctricas, especialmente transformadores.

El Dr. Díaz cuenta con el perfil deseable PRODEP.



Amaro Hernández César nació en Mexicali, B. C., México en 1965. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en 1989 en la ciudad de Mexicali, B.C., México. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Electrónica en el área de instrumentación y control en 2002 y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en el área de instrumentación y metrología en 2009, ambos dentro de la mencionada Institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas de interés son el análisis de circuitos eléctricos, instrumentación y control, y la adquisición y procesamiento de datos.

El Dr. Amaro cuenta con el perfil deseable PRODEP.



Navarro Valle Alberto nació en Culiacán, Sinaloa, México en 1963. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en 1986 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C., México. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en Procesos Industriales, en 2008, por parte de la misma Institución, y el grado de Doctor en Educación, en 2015, por parte del Centro Universitario de Tijuana, en Mexicali, B.C., México.



Escobedo Rosales Pedro Francisco, nació en Ensenada, B.C., México en 1985. Obtuvo el grado de Ingeniero Eléctrico por parte de la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali, B.C., México en 2007. Posteriormente obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería por parte del Instituto de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali B.C., México en 2014.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo y Coordinador de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Cuenta con más de 10 años de experiencia industrial en las áreas de energías renovables, sistemas de generación eólica e instalaciones eléctricas. Sus áreas de interés son las energías renovables, eólica y Sistemas Eléctricos de Potencia.

El Dr. Rosales es candidato al Sistema Nacional de Investigadores, así como también es miembro del Consejo Técnico del EGEL en Ingeniería Eléctrica.

El Dr. Rosales cuenta también con el perfil deseable PRODEP.

Calidad de vida laboral y su relación con la calidad de los productos terminados en la industria ATR.

P. Solís-Robles¹, D.E. Villalpando-Jordan¹, M.I. Reyes-Luna¹

Resumen—El propósito de esta investigación es conocer el índice de incidencia entre la calidad de vida laboral y la calidad de los productos terminados esto con el objetivo de proporcionar información a la organización sobre el posible índice de relación entre ambas variables y para que posteriormente se realice un plan de control de la calidad de los productos terminados mediante la calidad de vida laboral.

La calidad de vida laboral se ha analizado desde el enfoque de sus categorías: indicador individual, medio ambiente del trabajo, organización laboral y entornos sociolaborales. La investigación es del tipo cualitativa, descriptiva no experimental y está basada en la industria automotriz ATR de San Pedro de las Colonias Coahuila, ubicada en la zona industrial de la ciudad local #2, enfocándose en el área de ensamble de arneses. El instrumento utilizado está validado por el alpha de Cronbach con un resultado favorable.

Se conoce que actualmente las empresas invierten en mantener controlados los factores que se relacionan con la calidad de los productos, de lo contrario tendrían una gran pérdida de dinero por scrap, reprocesos, multas de quejas de clientes, entre otras.

Palabras claves—Ambiente de trabajo, Calidad de productos, Calidad de vida laboral, entorno laboral, organización laboral.

Abstract—The purpose of this research is to know the incidence rate, the quality of working life and the quality of the finished products, with the objective of providing information on the possible index of relationship between both variables. Quality control plan for finished products through the quality of working life.

The quality of working life has been analyzed from the perspective of its categories: individual indicator, work environment, labor organization and social and labor environments. The research is of the qualitative, descriptive non-experimental type and is based on the ATR automotive industry of San Pedro de las Colonias Coahuila, focusing on the work area of harnesses. The instrument used is validated by Cronbach's alpha with a favorable result.

The companies are not involved in keeping controlled the factors that are related to the quality of the products,

otherwise they would have a great loss of money for scrap, reprocessing, fines of customer complaints, among others.

Keywords—Work environment, Quality of products, Quality of work life, social and labor environment, labor organization.

I. INTRODUCCIÓN

Anteriormente las organizaciones se enfocaban en solo cumplir los objetivos de trabajo sin importar los medios para llegar a lograrlos, los colaboradores eran solo considerados como recurso productivo, sino hasta finales de la década de los 60's y comienzos de los 70's surgió el término de calidad de vida laboral por el ministerio de trabajo de EE.UU. y la fundación de Ford. [1]

Chiavenato menciona que si las organizaciones quieren alcanzar sus objetivos (Crecimiento sostenido, Rentabilidad, Calidad en los productos y servicios, Competitividad, entre otros.) de la mejor manera posible, debe saber canalizar los esfuerzos de las personas para que estas también alcancen sus objetivos individuales (mejores salarios, beneficios, estabilidad, satisfacción en el trabajo, oportunidad de crecimiento, entre otros.) y, de ese modo, se beneficien ambas partes. [2]

Lo anterior brinda un espacio para el presente estudio tiene como objetivo central determinar la relación de la calidad de vida laboral con la calidad de los productos terminados, que son elaborados en la industria automotriz ATR planta San Pedro, con la finalidad de descartar o incluir la calidad de vida laboral como factor en estudios posteriores en la calidad de los productos de la empresa.

Autores como Kahna (1972), Taylor (1973) y Guest (1979) proponen diferentes dimensiones teóricas y empíricas acerca de la calidad de vida laboral las cuales pueden ser analizadas por separado para encontrar el impacto que genera su ausencia efectiva en el desempeño de la organización [3], por ejemplo, en algunos estudios realizados demuestran que la motivación resulta tener un 0.777 de correlación con la calidad, mientras que la satisfacción laboral tiene un 0.341 y el liderazgo un 0.278. (Hospital Mario Muños Godoy). [4]

Este estudio de la calidad de vida laboral es analizado

¹Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias. Calzada del Tecnológico #53 Col. El Tecnológico C. P. 27800, México. e-mail contacto: pedro.solis@industrial.tecsanpedro.edu.mx

bajo las categorías o dimensiones formuladas en el trabajo de Almudena Segurado Torres y Esteban Agulló Tomás de la Universidad de Oviedo. [5] Las categorías de la calidad de vida laboral usadas en este estudio son: indicador del individuo, del medio ambiente de trabajo, de la organización y del entorno socio-laboral, las cuales agrupan indicadores respecto a cada una. Cabe mencionar que el estudio es cualitativo tipo descriptivo no experimental ya que se basa en las opiniones de los trabajadores y no se modifica ni elimina ningún factor.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El estudio comienza a partir de la interrogante ¿La calidad de vida en los trabajadores incide en la calidad de los productos de la industria ATR? Basada en los problemas de calidad de los productos terminados.

A. Descripción del problema

En la empresa ATR se encuentra un alto índice de productos terminados con un alto índice de defectos o ausencia de calidad.

B. Objetivo general

Conocer la relación que existe entre la ausencia de vida laboral y la calidad de proceso.

C. Objetivo específico

Conocer la situación en que se encuentran los colaboradores respecto a la calidad de vida laboral con respecto a las categorías de indicador individual, de medio ambiente, de organización laboral, de entorno sociolaboral y calidad de los productos terminados.

D. Hipótesis

La calidad de vida laboral es un factor que incide con la calidad de los productos terminados.

E. Muestra.

De acuerdo con la cantidad de trabajadores inmersos en el proceso de ATR se calculó una muestra (n) para llevar a cabo el estudio.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N: Tamaño del universo, 647.

Z: Constante del nivel de confianza para 90% es 1.64.

p: Proporción de los individuos que poseen la característica de estudio, 0.5.

q: Proporción de los individuos que poseen la característica de estudio, 1-p.

e: Error muestral deseado, 10%.

Por tanto, al vaciar los datos en (1) se obtiene (2) con un resultado de 52, es decir, el estudio se realizará a 52 trabajadores de la industria automotriz ATR.

$$n = \frac{(647)(1.64)^2(0.70)(0.30)}{(0.10)^2(647-1)+(1.64)^2(0.70)(0.30)} \approx 52 \quad (2)$$

F. Instrumento.

El instrumento es una encuesta diseñada en base en las categorías de la calidad de vida laboral para la recolección de datos del grupo de interés.

El diseño integra los indicadores de cada categoría, en la Tabla I se muestra los indicadores. [5]

TABLA I
CATEGORÍAS DE LOS INDICADORES DE LA CALIDAD DE VIDA LABORAL

<i>Indicadores individuales</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Satisfacción laboral - Expectativas, motivación - Actitudes y valores hacia el trabajo - Implicación, compromiso, centralidad del trabajo - Calidad de vida laboral percibida
<i>Medio ambiente de trabajo</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones de trabajo - Diseño ergonómico - Seguridad e higiene - Nuevas tecnologías - Análisis de puestos - Características y contenido del trabajo
<i>Organización</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Organización del trabajo, efectividad y productividad - Organigrama, estructura y funcionamiento - Cultura y cambio organizacional - Participación y toma de decisiones - Factores psicosociales - Aspectos sociales, comunicación, clima laboral
<i>Entorno sociolaboral</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de vida, salud y bienestar de los trabajadores - Condiciones de vida, jubilación, estilo de vida - Variables sociodemográficas - Factores socio-económicos: políticas de empleo, seguridad y estabilidad laboral - Prevención de riesgos laborales

Se realizó una prueba preliminar con el Alpha de Cronbach dando un resultado favorable de 0.9428.

III. RESULTADOS

El estudio de los datos obtenidos por la encuesta se llevó a cabo por el análisis de correlación para el objetivo general y análisis porcentual para el objetivo específico.

El análisis de correlación se realizó de cuatro maneras posibles, es decir, se analizaron cada una de las categorías que componen la calidad de vida laboral como variable dependiente (x) con la calidad de los productos terminados como variable independiente (y). En la Tabla II se muestran los resultados.

TABLA II
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

	Indicador individual	Ambiente de trabajo	Organización laboral	Entorno sociolaboral
Calidad	$r^2 = 7.2\%$	$r^2 = 0.9\%$	$r^2 = 3.1\%$	$r^2 = 4.3\%$

En la figura 1,2,3,4 se muestra la relación entre las categorías de calidad de vida laboral con respecto a la calidad de los productos terminados, son gráficas de apoyo para la interpretación de los resultados.

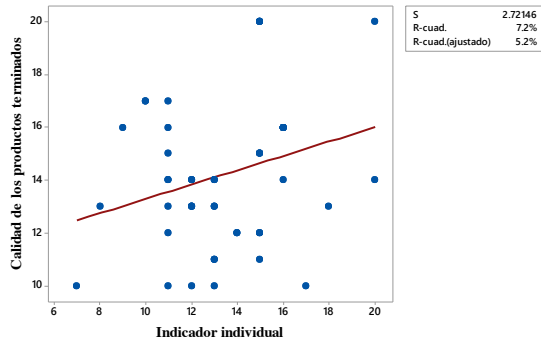


Figura 1. Gráfica de correlación lineal entre Indicador individual y Calidad de los productos terminados.

La línea graficada de correlación entre las variables se expresa en (1).

$$y = 10.59 + 0.2713 x \quad (1)$$

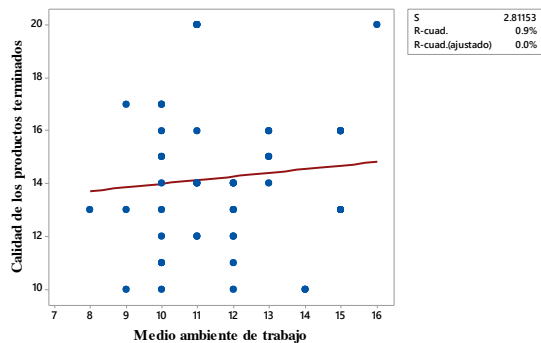


Figura 2. Gráfica de correlación lineal entre Medio ambiente de trabajo y Calidad de los productos terminados.

La línea graficada de correlación entre las variables se expresa en (2).

$$y = 12.62 + 0.1377 x \quad (2)$$

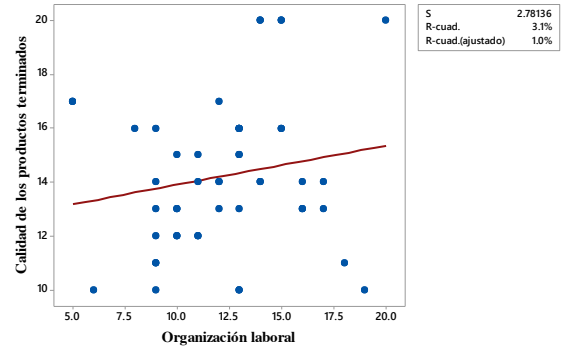


Figura 3. Gráfica de correlación lineal entre Organización laboral y Calidad de los productos terminados.

La línea graficada de correlación entre las variables se expresa en (3).

$$y = 12.46 + 0.1455 x \quad (3)$$

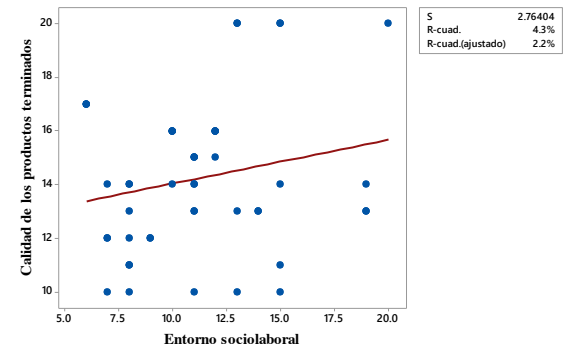


Figura 4. Gráfica de correlación lineal entre Entorno sociolaboral y Calidad de los productos terminados.

La línea graficada de correlación entre las variables se expresa en (4).

$$y = 12.42 + 0.1626 x \quad (4)$$

Considerando los coeficientes de correlación de los análisis y en base a la interpretación de Hernández y Fernández [6].

- El Indicador individual en relación a la calidad de productos terminados tienen una incidencia positiva considerable;
- Medio ambiente del trabajo con afinidad a la calidad de productos terminados es una correspondencia positiva muy débil;

- Organización laboral respecto a la calidad de productos terminados es una correlación positiva débil;
- Entorno sociolaboral respecto la calidad de los productos terminados es una afinidad considerable.

El análisis porcentual para conocer la situación en que se encuentran los trabajadores de la empresa automotriz ATR se presenta en cada una de las categorías de calidad de vida laboral y en la calidad de los productos terminados.

El indicador individual refleja que el 49.18% de los trabajadores de la ATR perciben una satisfacción suficiente con su trabajo, lo cual refleja un factor motivador ya que produce sentimientos de logro y compromiso con su trabajo. En la Figura 5 se muestra la gráfica.

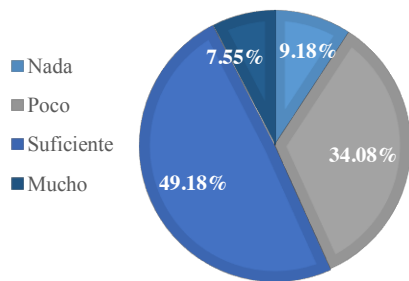


Figura 5. Gráfica circular del Indicador individual.

En la categoría de Medio ambiente de trabajo el 60% de los colaboradores señala que están satisfechos con su lugar de trabajo, en base a condiciones ergonómicas, higiénicas y tecnológicas, los porcentajes se muestran en la Figura 6.

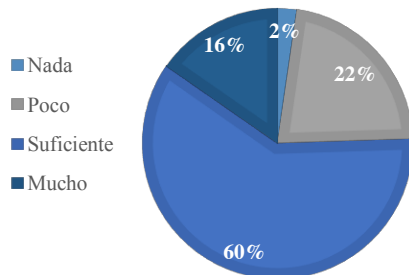


Figura 6. Gráfica circular del Medio ambiente del trabajo.

Un 43.47% de los colaboradores visualiza que existe carencia en la organización laboral en base a la interacción con otros miembros, tomando en cuenta además su estructura, cultura participación y clima laboral. Véase en la Figura 7.

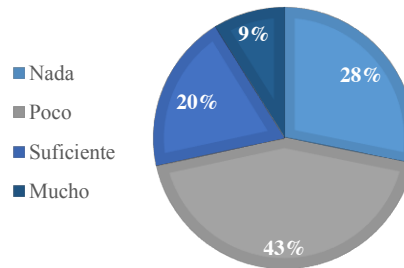


Figura 7. Gráfica circular de Organización laboral.

El 41.02 % de colaboradores opinan que el entorno sociolaboral donde se desempeñan se encuentra suficientemente apto para ellos, pero el 51% indica poco bienestar y estabilidad laboral en su entorno sociolaboral, como se muestra en la Figura 8.

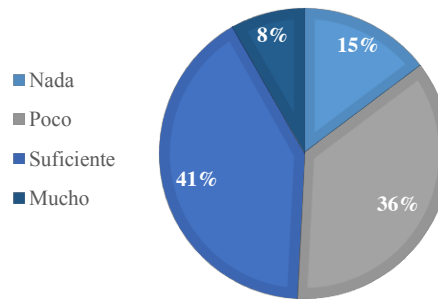


Figura 8. Gráfica circular de Entorno socio laboral.

En Calidad de productos terminados, el 53.83% de los colaboradores de la empresa ATR valoran que sus productos terminados tienen una cantidad de defectos fuera de la tolerancia, como se muestra en la Figura 9.

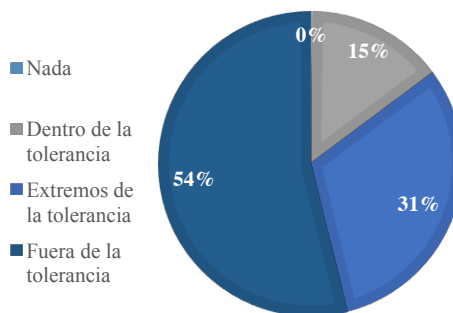


Figura 9. Gráfica circular de Calidad en los productos terminados.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado en la empresa ATR en San Pedro de las Colonias, Coahuila, basado en la percepción colaboradores inmersos en el proceso demuestra que la calidad de vida laboral si tiene incidencia con la calidad de los productos terminados, ya que los resultados de correlación muestran una correlación positiva, por lo tanto, la hipótesis se acepta.

La mayoría de la población estudiada perciben una satisfacción suficiente de su trabajo, condiciones del lugar donde se desempeñan y del entorno socio laboral, pero también perciben que la organización laboral cuenta con carencias que afectan su desempeño.

Referente a la calidad de los productos terminados, el 53.83% indica que sus defectos producidos van más allá de las tolerancias, por lo tanto, los productos y procesos no están bajo control.

Esta investigación aporta información para los posteriores estudios de los factores de la calidad de los productos o el impacto del descuido de la calidad de vida en los trabajadores.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Dios por brindarnos esta oportunidad y nuestras familias por su apoyo incondicional, así como al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias y sus docentes por brindarnos los medios para lograrlo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Prieto., P. G. (1996). *Tratado de Psicología en el trabajo*.
- [2] Chiavenato, I. (2008). *Gestión del talento humano*. México. D.F.: Mc Graw Hill. Disponible en:
<http://www.facso.unsj.edu.ar/catedras/cienciaseconomicas/administracion-de-personal-I/documentos/chiavena.pdf>
- [3] Piero Jose M. (2011). Calidad de vida laboral: Dimensiones, Historia y Beneficos. *Revista IIPSI*.
- [4] Junco, M. V. (2008). Motivación, satisfacción laboral, liderazgo y su relación con la calidad del servicio. 6.
- [5] Tomás, A. S. Calidad de vida laboral: hacia un enfoque integrador desde la Psicología social. *Psicothema*, 828.
- [6] Hernández, D. R. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill. Disponible en:
https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

VII. BIOGRAFÍA



Solís Robles Pedro. Ejido Tacubaya, San Pedro de las Colonias, Coahuila 19 de octubre del 1996.

Él actualmente estudia en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila. la carrera de Ingeniería Industrial.



Villalpando Jordán Diana Elizabeth. San Pedro Coahuila 16 de junio de 1998.

Ella actualmente estudia en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila. la carrera de Ingeniería Industrial.



María Isabel Luna Reyes San Pedro de las Colonias, 20 de Diciembre de 1977 Licenciatura en Informática. Maestría en Educación. Universidad del Valle de México 2015. Instituto Tecnológico de Torreón. Actualmente labora como docente en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en la carrera de

Ingeniería Industrial. Jefa del Departamento de Residencias Cuenta con experiencia en atención y capacitación de grupos. Colaboradora en la línea de Investigación Educativa con resultados publicados en revistas por distintos congresos de relevancia nacional e internacional.

Incremento de la Rugosidad en el Mármol tipo Café Tabaco Mediante Cristalización de Sales por Sulfato de Sodio al 14%

A. M. Morales-Tassinari^{1*}, J. Ramírez-Peña¹, P. Cruz-Ortega¹, J. A. Hernández-Zárate², A. Servín-Martínez²

Resumen—El estudio tuvo como propósito realizar un ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio al 14% para determinar el porcentaje de incremento en la rugosidad del mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Para el ensayo de cristalización de sales se utilizaron 12 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm. El ensayo de cristalización de sales consistió en el secado de las probetas en un horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas, enfriado de las probetas a temperatura ambiente durante 2 horas, e inmersión de las probetas en solución de sulfato de sodio al 14% a temperatura ambiente durante 6 horas; de esta manera, se finalizó un ciclo de 24 horas. Se realizaron 15 ciclos para completar la prueba de cristalización de sales por sulfato de sodio. El resultado muestra que el mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, tuvo un porcentaje de incremento en la rugosidad del 159.35%. Con este resultado, el mármol tipo Café Tabaco de esta localidad tiene una alta alteración superficial; por lo tanto, es importante el uso de selladores que mitíguen la alteración superficial.

Palabras claves— Incremento de la rugosidad, mármol tipo Café Tabaco, prueba de cristalización de sales, sulfato de sodio.

Abstract—This study had the purpose to perform a salt crystallization test by sodium sulfate of 14% to determine the percentage of increase in the roughness of the marble type Café Tabaco from Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico. For the salt crystallization test, 12 cubic specimens with a size of 50 ± 0.5 mm were used. The salt crystallization test consisted of drying the specimens in an oven at a temperature of $60 \pm 2^\circ\text{C}$ for 16 hours, cooling the specimens at room temperature for 2 hours, and immersing the specimens in sodium sulfate solution at 14% at room temperature for 6 hours; in this way, a 24-hour cycle was completed. 15 cycles were performed to complete the salt crystallization test by sodium sulfate. The result shows that marble type Café Tabaco from Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, had a percentage of increase in roughness of 159.35%. With this result, the marble type Café Tabaco of this locality has a high surface alteration; therefore, the use of sealants that mitigate surface alteration is important.

Keywords— Increase of roughness, marble type Café Tabaco, salt crystallization test, sodium sulfate.

I. INTRODUCCIÓN

La roca es un agregado natural que mediante la combinación de uno o más minerales (cristalinos o amorfos) tienen características homogéneas [1]; por lo que, la naturaleza y el aspecto de esta roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen [2]. Una de las rocas más utilizadas como material de construcción y ornamental es el mármol y que se define como una roca carbonatada que tiene una textura cristalina por recristalización metamórfica, frecuentemente por calor y presión durante el metamorfismo, y compuesta principalmente por minerales de calcita y/o dolomita [3].

En la localidad de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco que se extrae para su transformación en diferentes productos como solería, aplacados de fachadas, pisos, peldaños de escaleras, etc.; de esta forma, suelen ser que son comercializados en distintas regiones de México. En la Figura 1, se muestra una fotografía de la cantera del mármol tipo Café Tabaco:



Figura 1. Fotografía de la cantera de mármol tipo Café Tabaco

En la Figura 2, se muestra una fotografía de la superficie del mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México:

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Ingeniería Mecánica, Avenida Tecnológico s/n, Col. Barrio San Sebastián Sección Primera, C.P. 74690, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calzada Miguel Ángel de Quevedo No. 2772, Col. Formando Hogar, CP. 91820, Veracruz, Veracruz, México.

* Correo electrónico: tassinari.adolfo1973@gmail.com

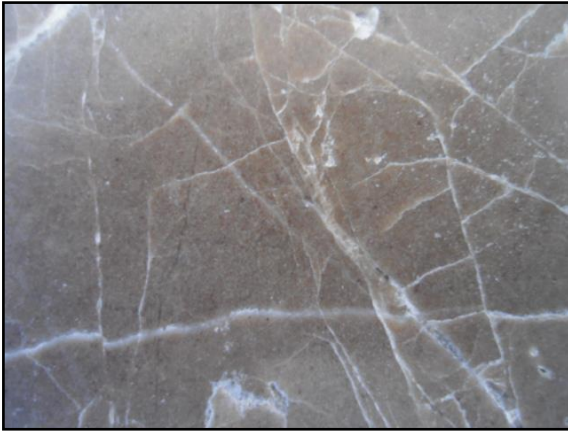


Figura 2. Fotografía de la superficie del mármol tipo Café Tabaco

En investigaciones realizadas a esta cantera de mármol tipo Café Tabaco se ha determinado un porcentaje de absorción de agua del 0.34% y una densidad de 2773 kg/m³ [4]; además, mediante una prueba de humedad-sequedad se obtuvo un porcentaje de pérdida de peso del 0.03% [5] y un porcentaje de aumento en la rugosidad del 26.54% [6] debido al proceso de disgregación granular.

El uso de cualquier roca fomenta la realización de estudios de alteración; en este sentido, la alteración es la modificación de sus características, de su composición o de sus propiedades, por exposición al ambiente [7]. Muchos estudios han demostrado que la alteración salina es un mecanismo importante de la alteración de la roca [8]; cabe mencionar que, las soluciones salinas penetran la roca y cuando el agua se evapora la sal se cristaliza dependiendo de: la solubilidad de la sal, características del sistema poroso y condiciones ambientales [9].

Para reproducir en laboratorio la alteración salina que sufre una roca existe el ensayo la prueba de cristalización de sales solubles que es un ensayo acelerado de durabilidad en condiciones ambientales extremas [10]; por lo que, en esta prueba los daños se deben al incremento de volumen debido a los procesos de cristalización y en especial a los de hidratación de las sales, sobre todo en el interior de los poros [11].

Uno de los aspectos importantes de una roca puesta en obra es la apariencia de la superficie exterior porque proporciona información sobre su color, brillo, textura, etc.; por lo que, la resistencia de una roca ante la alteración salina está relacionada con la superficie y controlada por la rugosidad que se define como la irregularidad que presenta una superficie a intervalos pequeños [12].

El presente estudio presenta los resultados del porcentaje de incremento en la rugosidad en el mármol tipo Café Tabaco de la cantera ubicada en Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante un ensayo de

cristalización de sales solubles por sulfato de sodio al 14%.

La metodología empleada para el ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio consiste en la saturación de las muestras a ensayar en una disolución salina de sulfato de sodio al 14% y posterior secado; después, tras un periodo de enfriamiento se completa el ciclo con la nueva inmersión de las probetas en la disolución [10]. En este sentido, el sulfato de sodio es una sal soluble que se considera muy peligrosa para la descomposición de la piedra, debido a su fuerte presión de cristalización [13]; en la Figura 3, se muestra una imagen del ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio:

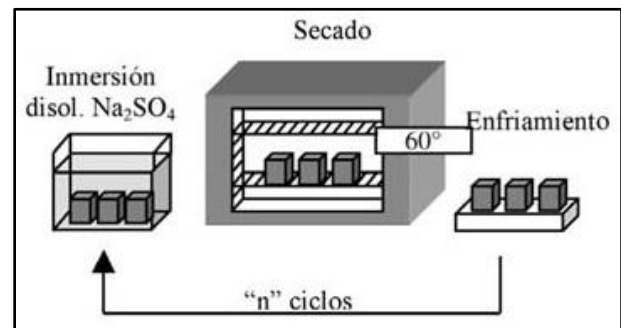


Figura 3. Imagen de la prueba de cristalización de sales por sulfato de sodio [10].

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El ensayo de cristalización de sales solubles por sulfato de sodio realizada al mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, se realizó en el Laboratorio de Ciencias e Investigación en Materiales (LACIIM) ubicado en el Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez.

Para la realización del ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio se utilizaron los siguientes equipos y materiales: pulidora marca MTI modelo UNIPOL-820, vernier analógico marca MITUTOYO, horno de secado marca MEMMERT modelo UP500, báscula digital marca METTLER TOLEDO modelo SP30002-S, rugosímetro marca MITUTOYO modelo SJ201, termómetro digital marca MATEST, agua destilada, sulfato de sodio anhidro y lijas con tamaño de grano 400. De la Figura 4a) a la Figura 4i), se muestran las fotografías de los equipos y materiales empleados para el ensayo:



Figura 4. Equipos y materiales empleados en la prueba de cristalización de sales: a) Pulidora marca MTI; b) Vernier analógico marca MITUTOYO; c) Horno de secado marca MEMMERT; d) Báscula digital marca METTLER TOLEDO; e) Rugosímetro marca MITUTOYO; f) Termómetro digital marca MATEST; g) Agua destilada; h) Sulfato de sodio anhidro; i) Lijas con tamaño de grano 400

A. Selección y preparación de las probetas

La empresa Mármoles de Tepeaca S.A. de C.V., procesó las probetas de mármol tipo Café Tabaco para el ensayo de cristalización de sales mediante muestras obtenidas de la cantera de la localidad de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. De las probetas procesadas, se seleccionaron 12 probetas con base al color característico café oscuro; además, que cada probeta tuviera una dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada superficie o arista cara.

Para la preparación de las 12 probetas, se seleccionó una superficie para que fuera la cara de referencia para la medición de rugosidad. La cara seleccionada, se lijó y pulió en una pulidora para eliminar las imperfecciones del proceso de corte y tener una superficie uniforme para la medición de la rugosidad. Posteriormente, a la cara pulida, se le marcaron 5 puntos de referencia para medir la rugosidad en dicha cara. Finalmente, se les asignó un número para que fueran identificadas durante la prueba. En la Figura 5a), se muestra una fotografía del pulido de la cara de referencia, mientras que en la Figura 5b), se muestra una fotografía de las probetas numeradas:



Figura 5. a) Lijado de una probeta; b) Probetas numeradas y marcadas.

B. Obtención del peso seco inicial de las probetas

Después de preparar las probetas, se secaron en un horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48; así, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas permanecieron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían su peso seco inicial. En la Figura 6a), se muestra una fotografía del secado inicial de las probetas; mientras que en la Figura 6b), se muestra una fotografía del peso seco inicial de la probeta PC01:



Figura 6. a) Secado inicial; b) Peso seco inicial de la probeta PC01.

C. Obtención de la rugosidad inicial

Para la medición de la rugosidad inicial de las 12 probetas secas de mármol tipo Café Tabaco, se utilizó un rugosímetro; por lo que, a cada probeta seca se le midió la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia, donde el punto 1 es la marca superior, el punto 2 es la marca derecha, el punto 3 es la marca inferior, el punto 4 es la marca izquierda y el punto 5 es la marca central. De la Figura 7a) a la Figura 7d), se muestran las fotografías de la rugosidad inicial en el punto 5 (medición en el centro) de las probetas secas PC01, PC04, PC08 y PC12 respectivamente:



Figura 7. Rugosidad inicial en el punto 5 de las probetas: a) PC01; b) PC04; c) PC08; d) PC12.

Cabe mencionar que, cada medición de la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia de cada probeta se realizó a temperatura ambiente. En la Tabla I, se muestran los valores de las rugosidades previo al inicio del test iniciales de las 12 probetas secas:

TABLA I
RUGOSIDAD INICIAL DE LAS 12 PROBETAS

Número de Probeta	Rugosidad Inicial de Probetas Secas (R_a) μm					Promedio
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	
PC01	0.38	0.41	0.37	0.33	0.32	0.36
PC02	0.42	0.36	0.38	0.44	0.36	0.39
PC03	0.34	0.38	0.41	0.43	0.38	0.39
PC04	0.34	0.38	0.30	0.33	0.28	0.33
PC05	0.32	0.39	0.43	0.41	0.30	0.37
PC06	0.38	0.37	0.43	0.34	0.39	0.38
PC07	0.47	0.34	0.37	0.43	0.44	0.41
PC08	0.35	0.34	0.33	0.37	0.31	0.34
PC09	0.43	0.35	0.41	0.34	0.35	0.38
PC10	0.42	0.37	0.36	0.37	0.31	0.37
PC11	0.44	0.38	0.37	0.41	0.39	0.40
PC12	0.36	0.44	0.39	0.43	0.33	0.39

D. Ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio

Se preparó una solución salina conteniendo 1.4 kg de sulfato de sodio anhidro y 8.6 kg de agua destilada; por lo que se obtuvo, una solución de sulfato de sodio al 14%. Posteriormente, las probetas se sumergieron en dicha solución de sulfato de sodio al 14% a una temperatura ambiente durante 48 horas para que se saturaran. Para garantizar que las 12 probetas estuvieran saturadas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48; así, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas fueron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían peso saturado.

En la Figura 8a), se muestra una fotografía con las 12 probetas sumergidas en la solución de sulfato de sodio al 14%; mientras que en la Figura 8b), se muestra una fotografía del peso saturado de la probeta PC01:



Figura 9. a) Probetas sumergidas en solución; b) Peso saturado de probetas PC01.

Una vez que se obtuvieron los pesos saturados de todas las probetas se inició el ciclo de prueba secando las 12 probetas en un horno de secado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. Posteriormente, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente durante 2 horas, para evitar en lo posible un choque térmico superficial. Finalmente, las probetas se sumergieron en la solución de sulfato de sodio al 14% a temperatura ambiente durante 6

horas. De esta manera, el ciclo de prueba de secado-enfriado-inmersión duró 24 horas; por lo tanto, este ciclo de prueba se repitió durante 15 ciclos. En las Figuras 9a) y 9b), se muestran las fotografías de las patinas superficiales de las probetas PC04 y PC05 respectivamente:

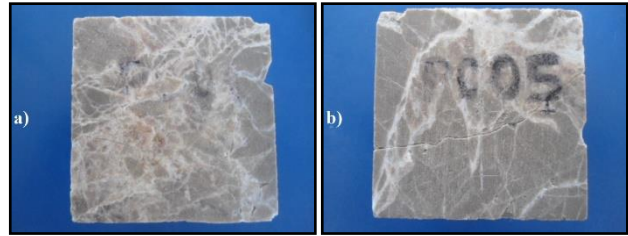


Figura 9. Patinas superficiales en las probetas: a) PC04; b) PC05.

E. Lavado de las probetas

Después del quinceavo ciclo, las 12 probetas se lavaron con agua destilada hasta que la sal fuera eliminada por completo; para esto, las probetas se sumergieron en agua destilada durante dos horas; al término de esas dos horas, se verificó que la resistividad del agua destilada era fuera la misma que la resistividad inicial de $200\text{M}\Omega\text{-cm}$. Se realizaron cuatro lavados adicionales hasta que la resistividad del agua destilada fuera la misma, antes y después del lavado. En la Figura 10a), se muestra una fotografía del lavado de las probetas; mientras que en la Figura 10b), se muestra una fotografía de la medición de la resistividad:

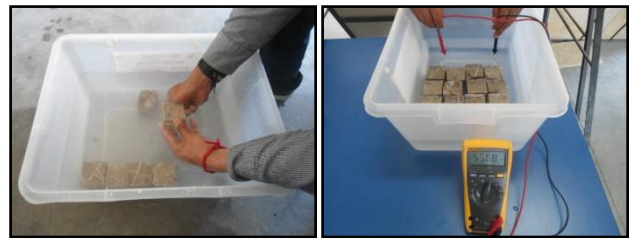


Figura 10. a) Lavado de las probetas; b) Medición de la resistividad.

F. Obtención del peso seco final

Finalmente, las 12 probetas se secaron en un horno de secado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas permanecieron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían su peso seco final. En la Figura 11a), se muestra una fotografía del secado final de las probetas; mientras que, en la Figura 11b), se muestra una fotografía del peso seco final de la probeta PC01:



Figura 11. a) Secado final; b) Peso seco final de la probeta PC01.

G. Rugosidad final de las probetas

Para la medición de la rugosidad final de las 12 probetas secas de mármol tipo Café Tabaco, se utilizó un rugosímetro; por lo que, a cada probeta seca se le midió la rugosidad final en los cinco puntos señalados, donde el punto 1 es la marca superior, el punto 2 es la marca derecha, el punto 3 es la marca inferior, el punto 4 es la marca izquierda y el punto 5 es la marca central. De la Figura 12a) a la Figura 12d), se muestran las fotografías de la rugosidad final en el punto 5 de las probetas secas PC01, PC04, PC08 y PC12 respectivamente:



Figura 12. Rugosidad final en el punto 5 de las probetas: a) PC01; b) PC04; c) PC08; d) PC12.

Cabe mencionar que, cada medición de la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia de cada probeta se realizó a temperatura ambiente. En la Tabla I, se muestran los valores de las rugosidades previo al inicio del test iniciales de las 12 probetas secas:

TABLA II
RUGOSIDAD FINAL DE LAS 12 PROBETAS

Número de Probeta	Rugosidad Inicial de Probetas Secas (R ₀) μm					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
PC01	0.74	0.92	0.94	0.99	0.83	0.88
PC02	1.01	1.08	0.95	0.96	0.82	0.96
PC03	0.99	0.91	0.93	0.95	0.92	0.94
PC04	0.95	1.04	0.93	1.04	0.94	0.98
PC05	0.98	0.94	0.98	0.90	0.92	0.94
PC06	0.84	0.83	0.91	0.94	0.85	0.87
PC07	0.98	0.95	1.08	1.02	1.01	1.01
PC08	1.05	1.09	0.96	1.07	0.99	1.03
PC09	1.06	1.03	1.04	1.08	1.05	1.05
PC10	0.97	1.06	0.81	0.90	0.95	0.94
PC11	0.96	0.98	1.07	0.92	1.02	0.99
PC12	1.01	1.03	1.08	0.96	1.01	1.02

III. RESULTADOS

A partir de la rugosidad promedio inicial (R₀) y de la rugosidad promedio final (R_F), se obtiene el porcentaje de aumento en la rugosidad (AR) mediante la ecuación 1:

$$AR = \frac{R_F - R_0}{R_0} \times 100\%$$

1

En la Tabla III, se muestra el resultado del porcentaje de aumento en la rugosidad del mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante una prueba de cristalización de sales solubles de por sulfato de sodio:

TABLA III
RESULTADOS DEL PORCENTAJE PROMEDIO DEL INCREMENTO DE LA RUGOSIDAD

Número de Probeta	Rugosidad Promedio Inicial R ₀ (μm)	Rugosidad Promedio Final R _F (μm)	Porcentaje de Incremento de la Rugosidad AR (%)
PC01	0.36	0.88	144.20
PC02	0.39	0.96	145.92
PC03	0.39	0.94	142.27
PC04	0.33	0.98	200.61
PC05	0.37	0.94	155.14
PC06	0.38	0.87	128.80
PC07	0.41	1.01	145.85
PC08	0.34	1.03	203.53
PC09	0.38	1.05	179.79
PC10	0.37	0.94	156.28
PC11	0.40	0.99	148.74
PC12	0.39	1.02	161.03
Promedio			159.35
Desviación Estándar			23.42

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos se concluye que, el mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, presenta un porcentaje de aumento en la rugosidad del 159.35% con una desviación estándar del 23.42%. El porcentaje de aumento en la rugosidad que presenta este material pétreo crea una pérdida en su principal cualidad estética que es el brillo; por lo que, para el cuidado estético de este material en condiciones de ambiente contaminado debe de considerarse el uso de recubrimientos que mitiguen la posible alteración que puede sufrir.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por realizar el financiamiento, además del préstamo de sus instalaciones y equipos para la

realización de la prueba de cristalización de sales.

VI. REFERENCIAS

- [1] López, V., Ascanio, G. y Guerrero, V. (2014). "Rocas industriales de Venezuela", Editorial Fundacite Aragua, Venezuela.
- [2] Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005). "Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física", Editorial Pearson Education, S. A., Madrid, España.
- [3] *Standard terminology relating to dimension stone*, ASTM Standard C119-16, MMMM, 2016.
- [4] Morales, A., Velasco, M., Cruz, P. y Chametla, C. (2017) "Estudio de Absorción y Densidad en el Mármol Tipo Café Tabaco Procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México". *Memoria del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals CICS Tuxpan 2017*, vol. 9, no. 4, pp. 1366-1371.
- [5] Morales, M., Guevara, J., Ortega, P. y Hernández J. (2017) "Estudio de Alteración del Peso en el Mármol tipo Café Tabaco Mediante una Prueba de Humedad-Sequedad". *Ingeniantes*, año 4, vol. 1, no. 1, pp. 22-27.
- [6] Morales, A., Velasco, M., Chametla, C., Servín, A. y Hernández, J. (2017). "Estudio en la Rugosidad del Mármol tipo Café Tabaco Mediante una Prueba de Humedad-Sequedad". *Capital Intelectual*, año 3, no. 9, pp. 5-10.
- [7] Alonso, F., Esbert, R., Ordaz, J. y Vázquez, P. (2006). "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación". *RECOPAR*, no. 3, pp. 23-32.
- [8] Rodríguez, C. y Doehne, E. (1999). "Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern". *Earth Surface Processes and Landforms*, no. 24, pp. 191-209.
- [9] Aira, N. (2007) "Pátinas oscuras sobre rocas graníticas: Génesis y composición". Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- [10] Benavente, D., Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). "Estudio de propiedades físicas de las rocas". *Enseñanzas de la Ciencia de la Tierra*, vol. 12, no.1, pp. 62-68.
- [11] Alonso, F. (2013). "Durabilidad de materiales rocosos". Departamento de Geología (Petrología y Geología), Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- [12] Fort, R., Álvarez, M., Vázquez-Calvo, C. y Gómez-Villalva, L. (2013). "Análisis de la microrugosidad mediante técnicas portátiles: Aplicaciones y casos de estudio en patrimonio". *Las Ciencias y el Arte IV. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio*, pp. 198-216.
- [13] Jamshidi, A., Reza, M. y Khamechiyan, M. (2013). "Estimating the Durability of Building Stones Against Salt Crystallization: Considering the Physical Properties and Strength Characteristics". *Journal Geope*, vol. 3, no. 2, pp. 35-48.

VII. BIOGRAFÍA

Morales Tassinari, Adolfo Manuel. Nació el 19 de Junio de 1973 en Veracruz, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1998 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 2015 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Docente de Ingeniería Mecánica; además, es líder de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.C. Morales es miembro de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM) desde septiembre de 2017; además, obtuvo la certificación como Auditor Líder Internacional en Sistemas de Gestión en

2009, la certificación como Green Belt Lean Six Sigma en 2015, el reconocimiento al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017, la certificación CSWA de SolidWorks en 2018 y la certificación SolidWorks Accredited Educator en 2018.

Ramírez Peña, Jaime. Nació el 03 de Marza de 1992 en San Salvador Atoyatempan, Puebla, México. Es:



El actualmente es estudiante de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Participó en el intercambio SUNY en la University of Buffalo, New York, USA, en 2014.

El estudiante Peña es tesista del proyecto de investigación "Estudio de Propiedades Físicas y de la Alteración del Mármol tipo Café Tabaco".

Cruz Ortega, Pedro. Nació el 05 de Octubre de 1985 en Ciudad Netzahualcóyotl, Estado de México, México. Es:



-Ingeniero Mecánico titulado en 2008 por el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

-Maestro en Educación Matemática titulado en 2018 por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Docente de Ingeniería Mecánica; además, es colaborador de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.E.M. Cruz obtuvo la certificación CSWA de SolidWorks en 2013 y la certificación SolidWorks Accredited Educator en 2018.

Hernández Zárate, Jorge Arturo. Nació el 06 de Octubre de 1967 en Xalapa, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Mecánico Electricista titulado en 1992 por la Universidad Veracruzana ubicada en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 1999 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Doctor en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de Calidad titulado en 2007 por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Veracruz en Veracruz, Veracruz, México, como profesor-investigador y docente de Ingeniería Mecánica y de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

Servín Martínez, Alberto. Nació el 15 de Febrero de 1954 en Xalapa, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1984 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ingeniería Mecánica titulado en 1995 por la Universidad Autónoma del Estado de México ubicada en Toluca, Estado de México, México.

-Doctor en Ciencias Químicas titulado en 2004 por la Universidad Nacional Autónoma de México ubicada en Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Veracruz en Veracruz, Veracruz, México, como profesor-investigador y docente de Ingeniería Mecánica y de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

Diseño de Estándar para Incrementar la Eficiencia en el Cambio de Modelo en el Área de Fundición

R. Sánchez-Segovia¹, E. Segovia-Avila²,

Resumen— En el presente documento se presenta una investigación de relación causa-efecto, aplicada a una empresa metal-mecánica, donde la problemática que se encuentra es el exceso de tiempo consumido en el cambio de modelo para la producción de los diferentes productos. Se aplican metodologías de la ingeniería industrial como toma de tiempos, estandarización de procedimientos y actualización de instrucciones de trabajo con el objetivo de reducir el tiempo que toma realizar el cambio de modelo en una línea de moldeo para el área de fusión donde se producen cabezas para los motores de los automóviles. Teniendo como hipótesis que con la estandarización de las instrucciones de trabajo y la capacitación de los trabajadores y líderes de equipos de trabajos se logra reducir el tiempo total que lleva ejecutar un cambio de modelo. Como resultado se logró reducir un 53.8% en tiempo de cambio de modelo, lo cual, trae como beneficio a la empresa cumplir con la demanda que exigen los clientes a la hora de producir las piezas, también se obtuvo una mayor eficiencia en la ejecución de las actividades que cada uno de los operadores lleva a cabo y se logró eliminar los cuellos de botella provocados por la falta de capacitación de los líderes de trabajo y de los mismos trabajadores.

Palabras claves— Tiempo, estandarización, instrucción de trabajo, reducción, capacitación.

Abstract— This paper presents a cause-effect investigation applied to a metal-mechanical company, where the problem encountered is the excess of time consumed in changing the model for the production of different products. Industrial engineering methodologies are applied such as taking time, standardizing procedures and updating work instructions in order to reduce the time it takes to change the model in a molding line for the fusion area where heads are produced for the engines of cars. Having as hypothesis that with the standardization of the work instructions and the training of the workers and leaders of work teams it is possible to reduce the total time it takes to execute a change of model. As a result, it was possible to reduce 53.8% in time of change of model, which, as a benefit to the company to meet the demand that customers demand when producing the pieces, was also obtained a greater efficiency in the execution of the activities carried out by each of the operators, and the bottlenecks caused by the lack of training of the work leaders and the workers themselves were eliminated.

Keywords— Time, standardization, work instruction, reduction, training.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de tiempos y movimientos es una herramienta para la medición del trabajo utilizada con éxito desde finales del siglo XIX, cuando fue desarrollada por Taylor. A través de los años dichos estudios han ayudado a solucionar multitud de problemas de producción y a reducir tiempos y costos. [1]

La importancia del estudio de tiempos y movimientos, radica en que puede ser aplicado en cualquier tipo de actividad o proceso, para encontrar la manera más adecuada de efectuar el trabajo y coadyuvar con una gestión eficiente, así también implica la técnica de establecer estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada. [2]

La principal problemática que se encuentra es el exceso de tiempo consumido en el cambio de modelo para los diferentes productos que son LFH RH y 45L3T, en el cual el tiempo aproximado de cambio de modelo es de 26 horas. Las variables que se encuentran son las siguientes: estandarización, capacitación y tiempos, ya que son las principales que se analizarán para lograr la reducción de los tiempos.

Teniendo como hipótesis que con la estandarización de las instrucciones de trabajo y así mismo la capacitación de los trabajadores y líderes de equipos de trabajos se logre reducir el tiempo total que lleva ejecutar un cambio de modelo. Teniendo como objetivo reducir el tiempo que toma realizar el cambio de modelo (LFX RH y 45L3T) en el área de moldeo-cabezas en una línea de moldeo para el área de fusión donde se producen cabezas para los motores de los automóviles, mediante la implementación de las metodologías de la ingeniería industrial.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Detectando la necesidad de realizar cambios de modelos en una línea de moldeo recurrentemente para producir los modelos LFX RH y 45L3T, en el cual el tiempo regular de cambio es aproximadamente de 26 horas para cada cambio de modelo, equivalentes a 3 turnos laborales, esto se realiza dependiendo de los requerimientos del cliente. Se tiene como hipótesis que con la capacitación de los operadores de los diferentes turnos y la estandarización de los procedimientos se logra reducir el tiempo en el cambio de

¹Ricardo Sánchez Segovia (ricardo.sanchez170496@gmail.com), Elda Segovia Ávila (elda.segovia@tecsanpedro.edu.mx). Instituto Tecnológico

Superior de San Pedro de las Colonias Calzada del Tecnológico #53 col. El Tecnológico C. P. 27800

moldeo, así como aplicando diferentes metodologías como: toma de tiempos, elaboración de procedimientos, SMED, etcétera, se logre reducir el tiempo de cambio de modelo.

Se tiene como objetivo disminuir el tiempo que toma realizar el cambio de modelo de dos productos diferentes (LFX RH y 45L3T) en el área de moldeo-cabezas en una línea de moldeo en el área de fundición, se pretende minimizar el tiempo total de cambio de modelo, mediante la implementación de la metodologías antes mencionadas.

Para la realización de la presente investigación se partió de la metodología de la ingeniería aplicada y se realizó el siguiente proceso:

A. Obtención de datos:

Se acude a la línea de moldeo de fundición a observar el procedimiento que los empleados utilizan para realizar un cambio de modelo, así como también se obtuvo la recopilación del procedimiento que actualmente los operadores ejecutan al momento de un cambio de modelo, esto haciendo uso de una bitácora como instrumento de recolección de datos.

Se realizaron diferentes formatos que nos ayudaron con las anotaciones de los tiempos y de las observaciones dentro del cambio, como se muestra en la figura 1.

# Banco 1 2 3			
OPERADOR	ACTIVIDAD	TIEMPO	OBSERVACIONES
Operaciones			
	Posicionar maquina 1 en home en		
	Mandar carro 1 a posición de mantenimiento		
	Posicionar maquina 2 en home en		
	Mandar carro 2 a posición de mantenimiento		
	Posicionar maquina 3 en home en		
	Mandar carro 3 a posición de mantenimiento		
	Poner maquina en posición de desmontaje		
	Abrir puerta y colocar candados		
	Tomar control HU		
	Descampliar moldes LFX RH		
	Liberar laterales		
	Liberar botadores		
	Desganchar laterales		
	Quitar candados de frontal		
	Desconectar termopares 2		
	Tomar la grúa(colocar en posición-banco)		
	Ganchar molde LFX RH		
	Levantar molde LFX RH		

Figura 1. Formato para la toma de tiempos y anotación de observaciones

La empresa contaba con tiempos estimados de cambio de modelo pero nunca se había realizado la evaluación y el análisis, la cual nos proporcionó los siguientes datos en tiempos estimados para la realización de un cambio de modelo, como se muestra en la tabla 1. Al momento de llevarse a cabo un cambio de modelo solo se tenía una noción del tiempo aproximado que debería llevarse un cambio en las diferentes áreas, esto sin incluir fallas ni

demoras que pudieran ocurrir durante el cambio, ya que las demoras y fallas son impredecibles al momento de estarse ejecutando el cambio.

TABLA I
TIEMPOS APROXIMADOS ESTIPULADOS POR LA EMPRESA PARA CADA ÁREA QUE COMPRENDE LA LÍNEA DE MOLDEO

Tiempo aproximado	Área
3 h	Tomamesa (Fix's)
5 h	Estaciones de moldeo
1 h	Gantry Extractor
1h	Celda Preproceso
4 h	Baleout's

B. Toma de tiempos:

Se realiza la toma de tiempos en las diferentes áreas que comprenden esta línea de moldeo, las cuales son las siguientes:

- Fusión (Baleouts, vaciado de aluminio de corrida anterior)
- Estaciones Moldeo (cambio de moldes)
- Tornamesa (cambio de Fixes)
- Celda (cambio de nidos de enfriamiento, tenazas del robot y tenazas de gantry extractor)

Se toma el apoyo de los formatos de toma de tiempos para el vaciado de los datos obtenidos y de las observaciones que se lograron recopilar, a continuación se muestra en la figura 2:

ÁREA RESPONSABLE	ACTIVIDADES	TIEMPO	OBSERVACIONES
06:20 Para la línea de moldeo SIMONE			
Fusion(2)	Olla a posición de pintado/Realizar el cambio de metal en BO 2	30 min	Esperaron 20 min para girar baleout's, se llenaron al 100% 3:21 se preparo aleación baleout2 Solo quedo pendiente la preparación de aleación
	Realizar Cambio de Metal en BO1	35 min	
Mtto	Mandar Gantry de extractor en posición de mtto		Se omitio este paso
Mtto	Cambiar brazos de gripper de extractor		
Mtto	Cambiar Nidos de enfriamiento		
Mtto	Cambiar brazos de robot		
BANCO 3			
Operaciones	Mandar Banco 3 a posición de Mtto	2 min	4 personas Comenzó a las 7:15
Operaciones	Bajar Molde LFX de banco 3	9 min	El molde se levanto junto con el banco
Mtto	Alinear cilindro frontal del banco	6 min	
Operaciones	Subir Molde 005 (34/45L3T) en banco 3	10 min	Tiempo que tardo montarcargas en traer molde
Operaciones	Realizar conexiones del sist.de enfriamiento, ganchar laterales ,cerrar pistones	16 min	Un conector tenia mucha presion el molde
Mtto	Checkar sistema de enfriamiento	13 min	Tuvo fuga 2 mangueras y 1 conector del molde de 1/2" tiempo que se empleo para corregir las mangueras 10:02 quedo listo,pero seguía faltando el conector a las 10:24 quedo arreglado todo y se coloco el calentador,se encendio hasta las 10:37 debido a que no se pueden encender quemadores porque se necesita que la maquina este encendida, esta en modo manual.

Figura 2. Toma de tiempos reales en la ejecución de un cambio de modelo

Para la clasificación de los tiempos obtenidos en el cambio de modelo se apoya de la gráfica de concepto de la

clasificación de las actividades por la aportación de valor agregado, de acuerdo a la clasificación como se muestra en la figura 3, en: VA (valor agregado), NVA Innecesario (No valor agregado innecesario) y NVA Necesario (No valor agregado necesario). [3]

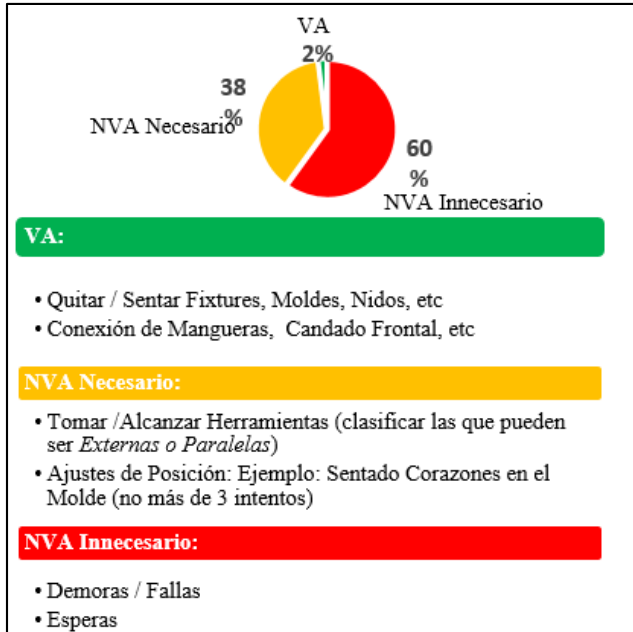


Figura 3. Clasificación de actividades de acuerdo al Valor Agregado para el cambio de modelo

De esta manera se separaron los tiempos que no agregaron valor al cambio de modelo y los que si agregan valor. Por ello se grafica la frecuencia de las fallas y demoras que ocurren con más frecuencia en un cambio de modelo, tomando acciones inmediatas para la solución y mejora de las mismas.

Como se ilustra en la figura 4, la falla que más se frecuente es el derrame de aluminio en los bancos y esto genera que se lleve demasiado tiempo en retirar dichos derrames de los bancos. El departamento de herramientas es el encargado de realizar la validación de los moldes antes de entregarse al departamento de moldeo, por ello se implementó un Check list para su verificación rápida antes de ser utilizados en el cambio de modelo.

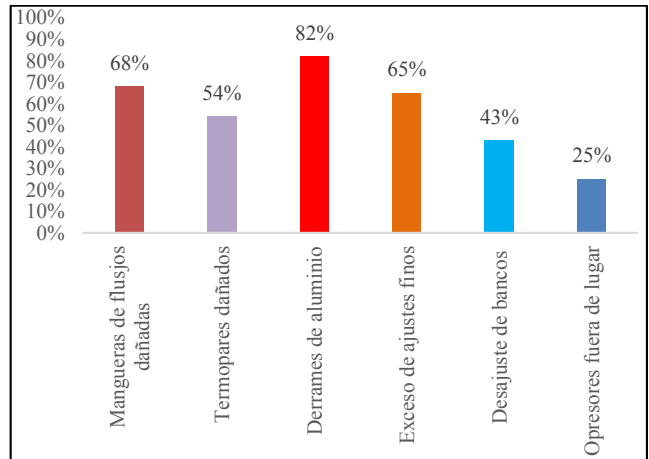


Figura 4. Fallas y demoras más frecuentes en un cambio de modelo (representando frecuencia en porcentaje)

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se lograron a través de la implementación de algunas metodologías, las cuales son: toma de tiempos, actualización de instrucciones de trabajos y estandarización de procedimientos, esto para la mejora continua y la reducción del tiempo de cambio de modelo. A continuación se muestran los resultados finales:

A. Actualización de la IT-MET-016 (Instrucción de trabajo para un cambio de modelo en línea de moldeo en área de fusión):

Con la actualización de la IT-MET-016 se logra capacitar a los líderes de trabajo y a los trabajadores acerca del cambio de modelo en línea de moldeo, como se muestra a continuación en la figura 5. La finalidad de esta instrucción de trabajo fue generar las instrucciones de operaciones de cada una de las áreas involucradas en el cambio de modelo, las cuales son: Fusión, Tornamesa, Celda y estaciones moldeo. También se aumenta la eficiencia al momento de que cada trabajador realiza sus actividades correspondientes y se eliminaron cuellos de botella que se generaban al momento de realizar el cambio, esto se debía a que no se habían asignado roles ni responsabilidades a los trabajadores y a los líderes de equipo.



Figura 5. Actualización de la IT-MET-016 (cambio de modelo en línea de moldeado para área de fusión)

B. Reducción de tiempo en cambios de modelo:

Al realizar el estudio, se obtiene el dato de 26 horas de trabajo utilizadas para realizar el cambio modelo, es decir, 3 turnos de trabajo, por lo que se procede a clasificar el tiempo para identificar el tiempo ocupado en actividades productivas y actividades no productivas en cada operación como se muestra en la figura 6. Este tiempo no productivo, representa para la empresa perdida de producción, ya que el cliente exige una alta cantidad de piezas a producir y la demanda es demasiada alta.

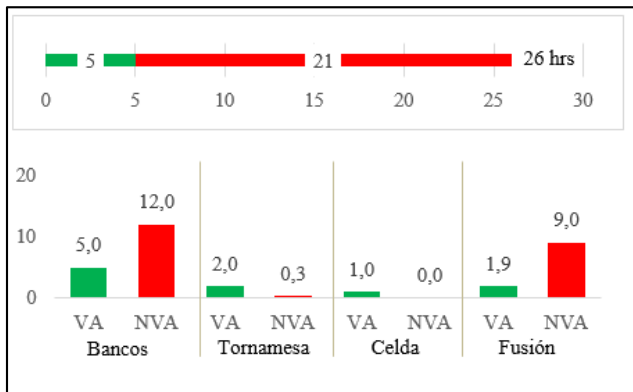


Figura 6. Clasificación del tiempo para el cambio modelo utilizado con el método actual.

Al realizar el análisis se encuentra que el tiempo no productivo era resultado de la mala organización de los equipos de trabajo, ya que no conocían el procedimiento adecuado para efectuar o llevar a cabo un cambio de modelo, además de que las fallas presentadas durante el proceso no se pudieron corregir de una manera inmediata.

1) Estrategia e implementación de Procedimiento estándar para cambio de modelo:

Con la toma de tiempos de los diferentes cambios de modelos que se llevaron a cabo, se realizó el procedimiento estándar del cambio de modelo, logrando cambiar a en actividades externas algunas de las actividades que se realizaban de manera internas ya que no agregaban valor al cambio de modelo. Para realizar el cambio de modelo las diferentes áreas trabajaban de manera consecutiva, es decir, una tras otra, esto hace que los tiempos sean demasiado extensos, por lo cual, se cambiaron las actividades secuenciales en actividades paralelas o simultaneas, como a continuación se muestra en la figura 7.

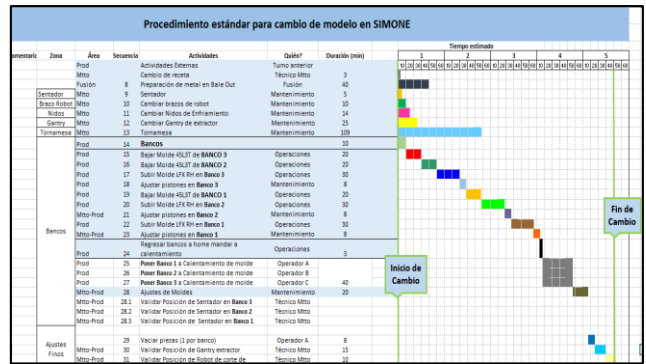


Figura 7. Procedimiento estándar de cambio de modelo.

Con la implementación del procedimiento se logra eliminar actividades que no agregan valor en la operación de bancos, como se muestra a figura 8, obteniendo como resultado 4.4 horas de tiempo total, resultado de actividades clasificadas en tiempos en Valor Agregado y Valor no Agregado Necesario, es decir, tiempo estándar sin demoras y fallas.

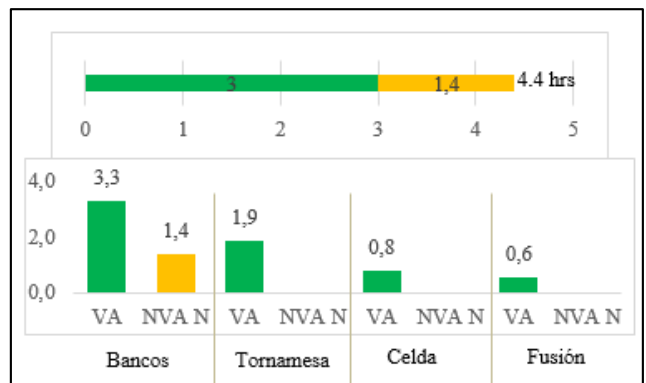


Figura 8. Clasificación del tiempo para el cambio modelo utilizado con el método propuesto.

De acuerdo con algunas de las restricciones que tiene la línea de moldeo no se puede trabajar de manera paralela, porque existe un seguro que restringe el trabajo del área de estaciones moldeo y el área de tornamesa, esto quiere decir, que solo una de las áreas puede trabajar y la otra espera a que termine. Se logró eliminar ese candado de seguridad con algunas modificaciones en la línea de moldeo con el objetivo de que el área de estaciones moldeo pudiera trabajar al mismo tiempo que el área de tornamesa. El candado de seguridad se eliminó con la implementación de las siguientes mallas de seguridad, a continuación se ilustra en la figura 9.

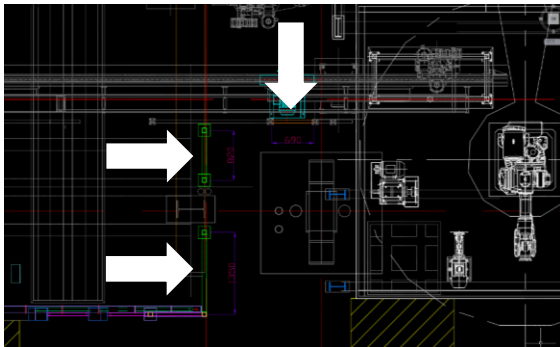


Figura 9. Eliminación del candado de seguridad en línea de moldeo (implementación de mallas de seguridad)

En la figura 9 se muestran tres de las mallas que se implementaron en el área de moldeo para la eliminación del candado de seguridad, las cuales cumplen con las siguientes características:

- 1 guarda para turbo soplador de 69 cm x 110 cm
- 2 guardas perimetral de 2 m de altura de diferente largo.
- Una de 135 cm de largo y la segunda 82 cm

Así se logra la eliminación del candado de seguridad y con ello se logró la reducción del tiempo estándar en el cambio de moldeo.

En la figura 10 se muestra el tiempo total que se lleva un cambio de modelo con la mejora implementada, obteniendo como resultado 12 horas equivalentes a un 53.8% de reducción del tiempo total que se llevaba realizar un cambio de modelo.

Las fallas que surgieron durante este cambio se le dieron soluciones inmediatas, ya que se contaba con las refacciones, las herramientas y el equipo adecuado en la disposición de los trabajadores y no se demoraban en ir al almacén por dichas refacciones o material necesario.

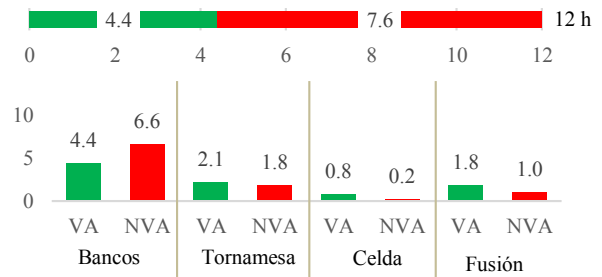


Figura 10. Tiempo en el cambio de modelo con el método propuesto.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La mejora continua es muy importante en las empresas de diferentes ramas, ya que tiene como propósito optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio.

Por ello se logró aplicar en esta empresa de rama metal-mecánica, con el objetivo de reducir el tiempo que se toma en hacer un cambio de modelo en una línea de moldeo para el área de fusión. En esta línea de moldeo se producen cabezas para los motores de autos, teniendo como cliente principal a General Motors, este cliente es muy exigente en la demanda y producción de los productos que él requiere para la elaboración de sus autos.

Se tuvo la oportunidad de implementar algunas metodologías en esta empresa, obteniendo como resultado la reducción del tiempo de cambio de modelo. Logrando reducir un 53.8% en tiempo de cambio de modelo, lo cual, trae como beneficio a la empresa cumplir con la demanda que exigen los clientes a la hora de producir las piezas.

También se obtuvo una mayor eficiencia en la ejecución de las actividades que cada uno de los operadores lleva a cabo y se logró eliminar los cuellos de botella provocados por la falta de capacitación de los líderes de trabajo y de los mismos trabajadores. Todo esto fue logrado al realizar la actualización de la IT-MET-016 y la capacitación de los trabajadores para su mayor conocimiento, la estandarización del procedimiento para un cambio de modelo en una línea de moldeo y por último se definió el tiempo estándar del cambio de modelo, asignando a cada una de las áreas involucradas el tiempo que deben consumir durante el cambio, esto sin contar las fallas y las demoras, las cuales son impredecibles.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, por los medios proporcionados como apoyo para llevar a cabo esta investigación.

VI. REFERENCIAS

- [1] Niebel. W. "INGENIERÍA INDUSTRIAL, Métodos, estándares y diseño del trabajo", Mc Graw Hill, México, Duodécima edición, 2009.
- [2] Oficina Internacional del Trabajo (OIT). "Introducción al Estudio del Trabajo", Limusa, Suiza, Cuarta edición, 1996.
- [3] Villaseñor. A. "Manual de Lean manufacturing", Limusa, México, Primera edición, 2007.
- [4] Barnes. M. "Estudio de Tiempos y Movimientos", Alfa Omega.
- [5] García. C. "Estudio del Trabajo", Mc Graw Hill, Segunda edición, 2005.
- [6] Trujillo. J.J. "Elementos de Ingeniería Industrial", Reverte, 1990.



VII. BIOGRAFÍA

Sánchez Segovia Ricardo. San Pedro, Coahuila, 17 de Abril de 1996. Él actualmente esta estudiando en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en San Pedro, Coahuila.



Segovia Avila Elda. San Pedro, Coahuila, 16 de Noviembre de 1976. Ingeniero Industrial por la Universidad Iberoamericana Plantel Laguna, Torreón, Coahuila 1998, Maestría en Educación por la Universidad Interamericana para el desarrollo, Gómez Palacio, Durango 2010.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en San Pedro, Coahuila.

Reducción de Tiempos de Fluctuación Mediante el Balanceo de Líneas en Empresa Automotriz

W. Avila¹, E. Segovia-Avila²

Resumen—En este artículo se describe la problemática sobre elevados niveles de fluctuación que existe en las estaciones de trabajo de una línea de ensamble de arnés, la cual genera cuellos de botella ocasiona paros de línea y bajos niveles de productividad.

El objetivo principal es incrementar la eficiencia en el proceso de ensamble, disminuyendo los tiempos de fluctuación, mediante el uso de herramientas de la ingeniería industrial como método de balanceo de líneas, diagrama de Ishikawa y diagrama de Pareto, para el análisis y la disminución de los tiempos de fluctuación. La metodología seguida es la de ciencia aplicada que consiste en diagnóstico para la recolección de los datos, utilizando hojas de registro y la bitácora, para continuar con el análisis, implementación, y validación o evaluación de los resultados.

Como Resultado se confirma la hipótesis al obtener la disminución de los tiempos de algunas estaciones de trabajo, generando a su vez estaciones de trabajo más equitativas.

Palabras claves—Balanceo de línea, cuellos de botella, tiempos de fluctuación.

Abstract—This article describes the problem of high levels of fluctuation that exists in the work stations of a harness assembly line, which generates bottlenecks and causes line stoppages and low levels of productivity.

The main objective is to increase the efficiency in the assembly process, decreasing the fluctuation times, through the use of industrial engineering tools such as line balancing method, Ishikawa diagram and Pareto diagram, for the analysis and reduction of the fluctuation times. The methodology followed is that of applied science that consists of diagnosis for the collection of data, using log sheets and the logbook, to continue with the analysis, implementation, and validation or evaluation of the results.

As a result, the hypothesis is confirmed by obtaining the decrease in the times of some work stations, generating in turn more equal work stations.

Keywords—Line swing, bottlenecks, fluctuation times.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria automotriz es cada vez más demandada para la elaboración de dispositivos, equipos electrónicos, motores e infinidad de componentes para la fabricación de un automóvil, la cual cada vez es más exigente en cuestiones de calidad y entrega de producto al cliente. Actualmente en el mercado existen muchas marcas que lideran el mercado automotriz, estos organismos requieren de algunas otras empresas como parte de su cadena de suministro, que les apoyen en el ensamble o fabricación de componentes de su producto, en este caso estamos hablando de la fabricación de vehículos, es por ello que la industria dedicada a la manufactura del arnés ha tenido una demanda creciente dentro de la economía del país, por consecuencia la industria arnesera es cada día más exigida en producción, calidad, productividad y tiempos de fabricación. Por lo que es necesario realizar estudios constantemente, que permitan incrementar los indicadores mencionados.

Una de las técnicas del estudio del trabajo que puede ser útil para conocer el tiempo que se emplea para realizar la manufactura es el estudio de tiempos definido como “procedimiento que usa un cronómetro para establecer estándares. Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo, mientras que los estándares mal establecidos, aunque es mejor tener los que no tener estándares, conducen a costos altos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa. Esto puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio”. (Niegel & Freivalds, 2009)[1]

Mientras que la ingeniería de métodos según Niegel-Freivalds (2009) determina esta metodología mediante el siguiente concepto; “Muy a menudo, los términos análisis de operaciones, diseño del trabajo, simplificación del trabajo, ingeniería de métodos y reingeniería corporativa se utilizan como sinónimos. En la mayoría de los casos, todos ellos se refieren a una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o reducir el costo por unidad de producción: en otras palabras, a la mejora de la productividad.”

¹ Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Departamento de Ingeniería Industrial. C. del Tecnológico No. 53, Col. El Tecnológico, C. P. 2780, San Pedro, Coahuila, México.
elda.segovia@tecsanpedro.edu.mx

El impacto científico de este artículo consiste precisamente en compartir con la sociedad involucrada en el campo las implicaciones al desarrollar la ingeniería aplicada para mejora de un proceso.

La hipótesis propuesta es que el problema se puede resolver mediante la aplicación de herramientas de análisis de la ingeniería industrial las cuales se utilizan para analizar e interpretar la situación actual, partiendo de un balanceo de líneas para determinar las principales causas del problema aplicando de la mano la ingeniería de métodos para mejora de la estandarización del proceso de ensamble en la línea de producción, puesto que una línea de fabricación equilibrada depende la optimización de ciertas variables que afectan la productividad de un proceso, como los son los tiempos de fabricación y el estándar de trabajo. Por lo que la variable dependiente a analizar es la Productividad en el proceso y las variables independientes a considerar son los Tiempos para la elaboración del trabajo y el estándar de trabajo

Es claro pues que la ingeniería aplicada trae consigo beneficios para la mejora de los procesos, en este caso el aplicar un análisis en el estudio de tiempos para disminuir las fluctuaciones [2], siguiendo un procedimiento sistémico que permita evidenciar el objetivo principal en el presente documento que es mostrar los resultados de la reducción de los tiempos de fluctuación mediante un estudio de tiempos y balanceo de líneas por la técnica Yamazumi, dando respuesta positiva a la interrogante ¿El balanceo de líneas disminuye los tiempos de fluctuación de la línea de manufactura?

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Estrategia metodológica

1) Hipótesis

La hipótesis que se presenta es que el tiempo de fluctuación se puede reducir mediante la aplicación de herramientas de análisis de la ingeniería industrial.

2) Instrumentos de medición y técnicas

Los instrumentos de recolección de datos utilizados son la bitácora, diario de apuntes, hoja de observaciones, y las herramientas de análisis usadas son Excel, Minitab y AutoCAD. La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto es la del Método de la Ingeniería Aplicada.

3) Tipo de muestreo

En el análisis de este proyecto no se hace uso de la técnica del muestreo, puesto que se trabaja con el parámetro poblacional para la obtención de los datos. Por lo que se toma en cuenta a una población de 43 operaciones para el

ensamble de enciente, teniendo como muestra n=43, que son las operaciones para el ensamble de arnés.

B. Etapas

Partiendo de un análisis sistemático en cual empieza empleado herramientas estadísticas de calidad como Diagrama de Ishikawa (causa-efecto) y diagrama de Pareto, las cuales generaran apertura al uso de otra técnicas o herramientas de la ingeniería industrial como lo son: toma de tiempos, balanceo de líneas. Las etapas del desarrollo del proyecto son las propias de la Ingeniería aplicada: • Diagnóstico, Análisis, Propuesta, Implementación y Validación

1) Diagnostico

a) Para esta investigación la tarea inicial de ejecución es identificar los altos niveles de fluctuación dentro del proceso de ensamble en una industria de manufactura de arnés.

b) La muestra representativa es el área de ensamble del arnés, ya que en la empresa donde se realizó el estudio de campo determina por política la toma de 5 muestras para la realización de la toma de los tiempos. Además de contar con un formato para la recolección de los datos.

The table is a grid for recording observations. It has columns for 'Fecha', 'Hora', 'Operación', 'Tiempo', 'Observaciones', and 'Categoría'. The rows are numbered from 1 to 43, corresponding to the operations mentioned in the text. The table is designed to capture data for each of the 43 operations, with specific columns for time and notes.

Figura 1: Formato para registro de observaciones de tiempos

El siguiente paso es hacer el registro mediante el

estándar de operación que existe en la línea de ensamble para realizar el análisis estadístico del tiempo actual de elaboración. Dicho registro se realiza mediante observaciones haciendo uso del instrumento llamada hoja de observación, anotando todas y cada una de las operaciones de ensamble identificando los tiempos actuales [3], nombrados así porque son los tiempos que la empresa utiliza antes del análisis y propuesta de otros tiempos mejores que reduzcan la variabilidad en el proceso de ensamble del arnés, como se muestra en la figura 2.

HOJA DE OBSERVACION
Table with columns for Operation, Start Time, End Time, Duration, and Description. It lists various assembly steps for a harness component.

Figura 2: Recolección de los tiempos

C. Análisis

Luego se procede a realizar el análisis estadístico, en una hoja de balance, siguiendo el método de diagrama Yamazumi, que en el Lean Manufacturing se refiere a un diagrama de columnas apiladas que representa las formas en que se reparte el tiempo o la capacidad de los medios productivos entre producción y problemas. Entendiendo como problema toda parada no planificada de los medios de producción. Existen tres elementos a destacar al realizar un análisis por medio de esta técnica los cuales según Ceballos Yolanda (2014) se pueden clasificar de la siguiente manera:

Valor añadido: son todas las operaciones que aportan

valor al producto, es decir, lo transforman de forma que cambia su naturaleza, forma o características de acuerdo a los requisitos y especificaciones del cliente, son los tiempos de color verde en la figura 3.

Sin valor añadido, pero necesario en color rojo en la figura 3: son todas aquellas operaciones donde la materia prima no sufre algún tipo de transformación, es decir, no se aumenta el valor añadido del producto, pero a la vez se tratan de procesos inevitables para la correcta fabricación de los mismos.

Desperdicio en color rojo en la figura 3: se trata del resto de actividades que no aportan valor al producto y son totalmente evitables. Por tanto, se tratan de operaciones sin sentido que solo añaden tiempo y coste extra.

Para obtener el balanceo por el método Yamazumi debemos seguir los siguientes pasos:

- 1. Calcular el tiempo que ocupa cada operación.
2. Categorizar las operaciones, en función de si añaden valor al producto, o no lo añaden, pero son completamente imprescindibles, o si son desperdicios de tiempo.
3. Plasmarlas en el diagrama.
4. Marcar el Takt Time que calculamos según la demanda del cliente y observar si se ajusta a nuestras operaciones. [4].

Este procedimiento se realizó en Excel para conocer qué tan grave son los niveles de fluctuación existentes y buscar una contramedida para su disminución. En la figura 3 se aprecia que actualmente existen altos niveles de fluctuación de acuerdo a los tiempos de valor agregado por el método Yamazumi, de los cuales corresponden a 1004 segundos desperdiciados, los cuales se generan en cada hora durante el proceso de ensamble del arnés. Además de manera clara la figura muestra algunas operaciones con excesivos tiempos de fluctuación como lo son el encinte 1 el cual es el más alto con un total de 73 segundos.

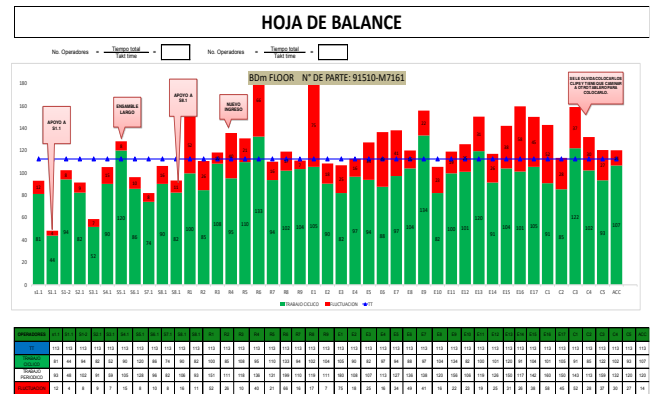


Figura 3: Balanceo por el método Yamazumi con fluctuaciones altas de tiempo

Al realizar su análisis de las causas de las fluctuaciones, se encontró que al correr la línea de ensamble los encintes actuales parecen estar distribuidos de manera proporcional, pero en realidad no es así. se puede observar esto a la hora de realizar la toma de tiempos con el estándar actual como se muestra en la figura 4, el cual en algunos casos es muy largo y en otros el tiempo es el adecuado, esto se puede notar ya que no es lo mismo que un operador genere una operación en una rama la cual conlleva solo el uso de cinta aislante a comparación del uso de tubo corrugado, tuvo blando, entre otros componentes más, haciendo más compleja la operación el uso de estos.

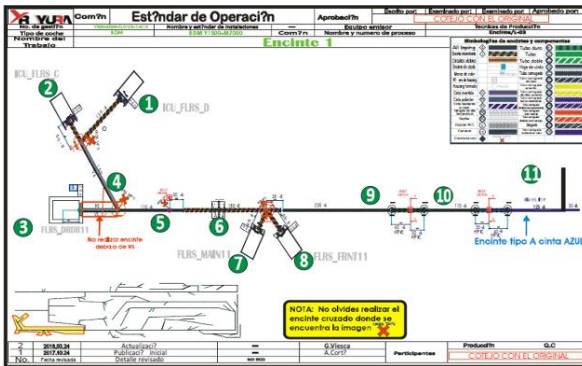


Figura 4: Ejemplo de un método de encinte actual

D. Implementación

Se procede a actualizar el estándar actual, el cual consiste en crear un estándar en el cual se asigna a cada encinte operaciones acordes a su capacidad de encinte y manejo de componentes, ya que no todos son hábiles usando componentes como tubos, hojas de algodón, hojas de vinil, etc., buscando la comodidad en las distintas estaciones de trabajo.

La generación del nuevo estándar se realizó en base a las observaciones mencionadas con anterioridad. En la figura 5 se muestra un ejemplo de un nuevo diseño de un estándar de trabajo el cual es del encinte uno.

A comparación del estándar anterior (figura 4) con el estándar actual (figura 5) se puede apreciar a simple vista que este ramal es más corto que el de primer estándar, el cual le facilita al encinte que se desarrolle con mayor facilidad la tarea asignada, además de contar con una cantidad inferior en cuestión de distancia.

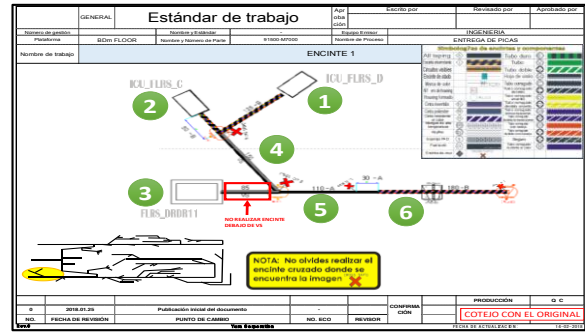


Figura 5: Cambio de estándar de trabajo

E. Validación

Al realizar el cambio de estándar se procedió a realizar un nuevo estudio de tiempos [5], con la finalidad de comprobar el impacto que se genera al realizar el cambio.

Se realizó un nuevo estudio de tiempos para determinar el impacto en los tiempos estándar, esta recolección de tiempos se muestra en la figura 6.

HOJA DE OBSERVACION												
Operación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Observaciones
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												

Figura 6: Estudio de tiempos del estándar modificado

Después de obtener los datos para el nuevo estudio de tiempos, realizó el análisis por el método Yamazumi, siguiendo los pasos mencionados anteriormente, para su elaboración.

En la figura 7 se puede observar el balanceo Yamazumi, donde muestra que los tiempos de fluctuaciones disminuyeron en un 47.11% es decir se redujeron en casi la mitad, de los cuales ahora corresponden a 531 segundos de fluctuaciones por cada hora trabajada, así como también el tiempo estimado de algunas operaciones se disminuyó.

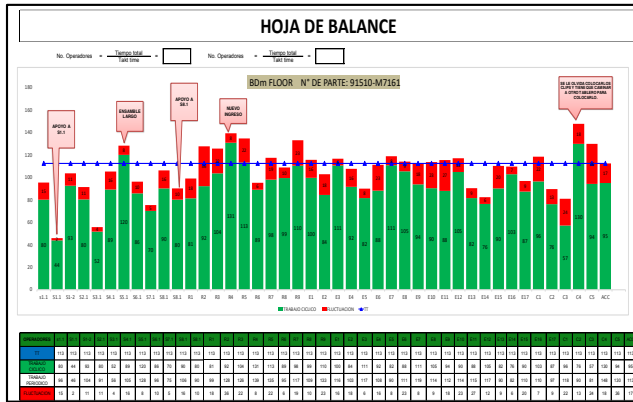


Figura 7: Balanceo por el método Yamazumi con reducción en fluctuaciones de tiempo

III. RESULTADOS

Al finalizar este estudio de tiempos y en base a los cálculos se pudo determinar qué balance de línea es el adecuado para generar una producción de 32 unidades producidas por hora (UPH), a comparación del estudio que se tenía registrado con anterioridad, la figura 8 muestra el resultado correspondiente a una hora de trabajo (color rojo) así como la que corresponde a la cantidad pronosticada usada en la realización del arnés (color azul).

3600	1.00	
3509	0.97	21
3585	29.24	
531	0.15	

Figura 8: Calculo de UPH del segundo estudio de tiempos

La figura 9 se muestran los datos de productividad anterior como referencia comparativa de las (UPH) como evidencia de los resultados obtenidos al disminuir los tiempos.

3600	1.00	
3679	1.02	22
4228	30.66	
1004	0.28	

Figura 9: Calculo de UPH del primer estudio de tiempos

Anteriormente las líneas producían 28 UPH, esta es la meta que comúnmente se utilizaba diariamente en la empresa, mediante la siguiente expresión matemática se puede evidenciar de manera clara que se generó un incremento en la productividad de un 14.28%

$$Productividad = \frac{32 \text{ UPH}}{28 \text{ UPH}} \times 100$$

$$Productividad = 114.28\%$$

La empresa generó una disminución de casi 500 segundos de tiempos de fluctuación, ya que anteriormente se perdían 1004 segundos, y con el método propuesto solo 531 segundos. Por lo que queda evidencia que mediante el cambio de los estándares de trabajo se logró disminuir casi en un 50% las fluctuaciones.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Al implementar las distintas técnicas de la ingeniería industrial se comprueba la hipótesis que enuncia que el tiempo de fluctuación y los reprocesos se pueden reducir mediante la aplicación de herramientas de análisis de la ingeniería industrial. Quedando comprobado al disminuir el tiempo de 3600 a 3509 e incrementar la productividad de 28 UPH a 32 UPH, con una reducción en los tiempos de fluctuación de 47.11%

Se propone realizar un estudio minucioso de los métodos de estándares de trabajo, para lograr generar una carga de trabajo más uniforme y justa, buscando disminuir en lo más mínimo posible las fluctuaciones, aunque cabe hacer mención que los tiempos de fluctuación nunca logran desaparecer en un cien por ciento, ya que siempre existirá alguna causa que genere una pequeña diferencia entre los tiempos, como lo puede ser la fatiga del operador, entre otros factores que pueden afectar los tiempos de manera directa o indirecta.

Por ultimo hay que hacer hincapié en la correcta aplicación de las distintas técnicas de la ingeniería industrial como en este caso la técnica Yamazumi y el estudio de tiempos, y de la ingeniería de métodos para análisis de estándares, tomando en cuenta que ayudan a las empresas a tomar decisiones de manera asertiva y congruente, partiendo de datos reales fundamentados en datos numéricos, lo cual proporciona información clara, precisa, sencilla y de manera efectiva

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, por los medios proporcionados como apoyo para llevar a cabo la investigación, y a su vez a la industria automotriz por brindarnos la oportunidad de realizar la aplicación de esta metodología.

VI. REFERENCIAS

- [1] Niebel, B. W., &Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo (Duodécima ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill
- [2] García Criollo, R. (2005). Estudio del Trabajo, Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo (Segunda ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill
- [3] Gutiérrez Pulido, H. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Six Sigma* (Segunda ed.). Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- [4] Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad Total y Productividad* (Tercera ed.). Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- [5] Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., &Malhotra, M. K. (2008). Administración de Operaciones. Procesos y Cadena de Valor (Octava ed.). México, D.F.: Pearson Education México.

VII. BIOGRAFÍA



Avila William. San pedro, Coahuila, 15 de Marzo de 1996.

El actualmente concluyó el 9º semestre en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en San Pedro, Coahuila.



Segovia Avila Elda. San pedro, Coahuila, 16 de Noviembre de 1976. Ingeniero Industrial por la Universidad Iberoamericana Plantel Laguna, Torreón, Coahuila 1998, Maestría en Educación por la Universidad Interamericana para el desarrollo, Gómez palacio, Durango 2010.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en San Pedro, Coahuila.

Mejoras en la Estimación de Estados de S.E.P. Adicionando PMUs a Configuraciones Óptimas Utilizando Análisis de Sensitividad

F.S. Sellschopp-Sánchez^{1}, C.E. Conde-Limón¹, R. Vargas-Salas¹, R. Loera-Palomo², M.A. Rivero-Corona².*

Resumen—La instalación de medidores fasoriales (PMUs) en los sistemas eléctricos de potencia (SEP) ha ido aumentando con la finalidad de monitorear de mejor manera la red eléctrica. Una de las aplicaciones de los PMUs es la estimación de estados del SEP, representando una de las funciones más importantes de los sistemas de gestión de energía en los centros de control de energía ya que de ésta dependen muchas otras funciones en la operación de la red que demandan resultados precisos del estimador.

Debido al alto costo de los PMUs, se han desarrollado algoritmos que optimizan la ubicación de estos medidores, sin embargo las distribuciones óptimas de PMUs no garantizan obtener la mejor estimación de estados con el menor número de equipos. Por ello se propone una metodología para adicionar un PMU a estas configuraciones óptimas, buscando aumentar la confiabilidad del estimador de estados.

La metodología propuesta establece una relación entre el análisis de sensitividad QV de los nodos y el error total de vector (TVE) de tensión. Esta metodología se implementó en el sistema eléctrico de 14 buses de la IEEE obteniendo resultados aceptables al aumentar la confiabilidad del estimador de estados, mostrando un cumplimiento del porcentaje de TVE esperado.

Palabras clave—Análisis de Sensitividad, Estimación de Estados, Unidades de Medición Fasorial

Abstract— The installation of phasor meters units (PMUs) in the power electrical systems (SEP) has been increasing in order to better monitor the electrical network. One of the applications of the PMUs is the SEP state estimation, representing one of the most important functions of the energy management systems at the power control centers since many other functions depend on the operation of the network that demand precise results from the estimator.

Due to the high cost of PMUs, several algorithms have been developed that optimize the location of these meters, however the optimal distributions of PMUs do not guarantee obtaining the best state estimation with the least number of

equipment. Therefore, a methodology is proposed to add a PMU to these optimal configurations, pursuing to increase the reliability of the state estimator.

The proposed methodology establishes a relationship between the QV sensitivity analysis of the nodes and the total error of the voltage vector (TVE). This methodology was applied to the IEEE electrical system of 14 buses, obtaining acceptable results by increasing the reliability of the state estimator, showing compliance with the expected TVE percentage.

Keywords—Phasor Measurement Units, Sensitivity Analysis, State Estimation.

I. INTRODUCCIÓN

La supervisión, operación y control de los sistemas eléctricos de potencia en tiempo real, es posible gracias al estudio y la aplicación de metodologías numéricas aplicadas en la estimación de estados, donde se tiene como objetivo conocer con la menor cantidad de error las tensiones nodales del sistema a partir de un conjunto de mediciones, [1].

El proceso de estimación considera inicialmente la adquisición de las mediciones en subestaciones eléctricas o enlaces del sistema. Referente a las mediciones, pueden ser mediciones convencionales, tales como inyecciones o flujos potencia activa, reactiva y tensiones nodales, o pueden ser mediciones fasoriales, registrando fasores de tensión y corriente registradas por PMUs. Posteriormente la comunicación de los datos medidos es enviada hacia el servidor computacional, ubicado en los centros de control, mediante unidades de terminal remota (UTR o RTU) o por medio de fibra óptica. Una vez ya en el servidor, a los datos se les aplican diferentes análisis de discriminación de información como algoritmos de topología, análisis estadístico para detectar mediciones erróneas, entre otros, para después realizar el proceso de estimación de estados. Dependiendo del tipo de medición realizada, la estimación de estados se puede realizar por métodos iterativos como mínimos cuadrados ponderados o por sustitución algebraica cuando se tienen mediciones fasoriales. La Figura 1 muestra el proceso de comunicación de datos de PMUs y unidades de terminal remota para efectuar la estimación de estado en el sistema de gestión de energía (EMS) [1].

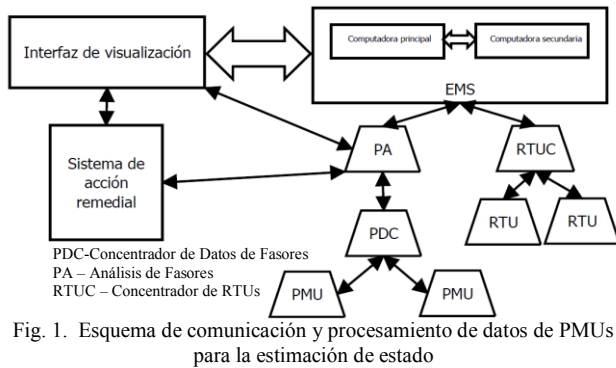
Debido al alto costo de los PMUs resulta inviable económicamente hablando instalar una unidad de

¹ TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

² CONACYT – TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

* sellschopp@hotmail.com.

medición fasorial en cada nodo de los grandes sistemas eléctricos de potencia. Por ello se desarrollan y aplican algoritmos de optimización para lograr obtener la mejor ubicación de estos equipos con el menor número de este tipo de medidores. Este proceso de localización óptima debe considerar que el sistema eléctrico debe ser completamente observable para lograr obtener una estimación de estados de la red eléctrica. Sin embargo la distribución óptima de PMUs no siempre arroja los mejores resultados en el estimador de estados, es por ello que se propone tomar en cuenta el coeficiente de sensibilidad de nodos y el error total de vector (TVE), con base a este coeficiente añadir un PMU en un nodo a la distribución que arroja el optimizador y así aumentar la confiabilidad del estimador de estados.



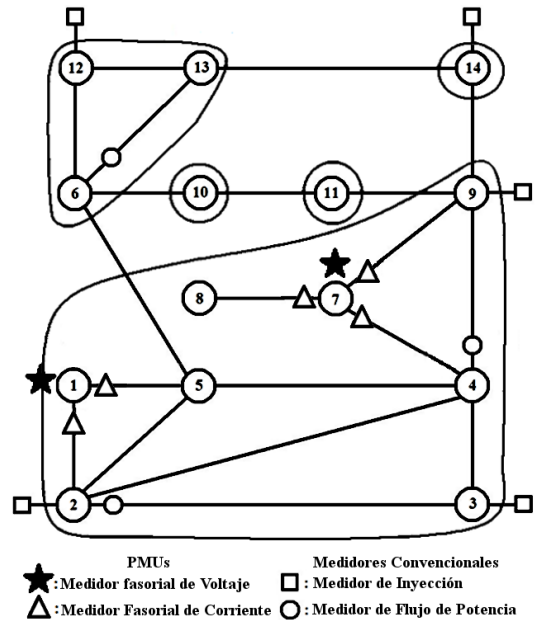
Con la incorporación de medición fasorial en los sistemas eléctricos de potencia, se han desarrollado metodologías de estimación de estado a base de la información proporcionada por estos equipos. Si un estimador recibe únicamente la información de medidores fasoriales, la incertidumbre del tiempo se elimina ya que cada medición tiene una referencia en el tiempo, esto permite decir que es posible efectuar estimaciones dinámicas en cualquier instante del tiempo.

II. OBSERVABILIDAD EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

El problema de observabilidad consiste en identificar una serie de mediciones que sean suficientes para efectuar una estimación de estados en un sistema eléctrico, estas mediciones deben de estar estratégicamente localizadas en la red eléctrica ya que desde el punto de vista económico no es factible llenar de medidores todo el sistema de potencia. Consecuentemente esto lleva a realizar un estudio de colocación óptima de PMUs para garantizar información necesaria y así conocer el estado de la red, teniendo como resultado una mayor confiabilidad en la operación del sistema de potencia.

Se puede decir que la observabilidad consiste en que un

conjunto de mediciones distribuidas óptimamente sobre un sistema eléctrico proporcione la información para conocer las variables eléctricas en cada nodo de la red; estas variables esencialmente son la tensión compleja, es decir la magnitud del voltaje y el valor de su ángulo en cada nodo de la red.



La aplicación del estudio de observabilidad antes de realizar una estimación de estados, permite que el estimador obtenga resultados confiables de toda la red eléctrica. Generalmente se recomienda que el análisis de observabilidad se efectúe durante la planeación del sistema, sin embargo la mayoría de las redes eléctricas ya se encuentran en operación, por lo tanto la inclusión de medidores para la estimación de estados se realiza poco a poco en lugares específicos hasta completar la observabilidad del sistema, [2].

III. METODOLOGÍA PARA ADICIONAR PMUS EN CASO DE ESTUDIO DE 14 BUSES

En este trabajo se considera una colocación inicial óptima de PMUs basado en los resultados mostrados en [2]. En el caso del sistema de 14 buses, la distribución inicial contempla PMUs en los nodos 2, 6, 7, 9 como se muestra en la Figura 3, por lo que la adición de un PMU será en aquellos nodos que no presentan dichos medidores. Para determinar dónde colocar un nuevo PMU se prevé necesario analizar algunos índices nodales con la finalidad de seleccionar el nodo que mejore los resultados de la

estimación; para esto se propone un análisis de sensibilidad.

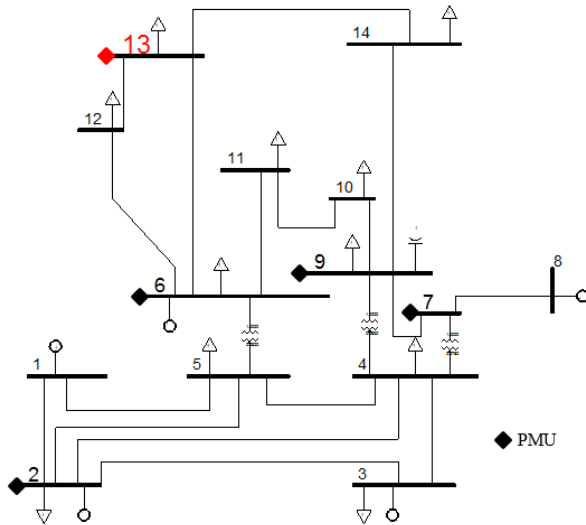


Fig. 3 Caso de estudio de 14 buses del IEEE

Existen distintos tipos de sensibilidades manejados en las redes eléctricas, para este estudio se contempla la sensibilidad QV o método de Jacobiano en análisis de sensibilidad de buses el cual considera que el coeficiente de sensibilidad de los buses es el negativo de la matriz de susceptancias [3] derivada la formulación del método de Newton-Raphson para la solución de flujos.

La metodología propuesta para la incorporación de un nuevo medidor fasorial considera utilizar el índice de sensibilidad QV de nodos de la red de potencia y del Error Total de Vector (TVE), [3]. La metodología requiere conocer la sensibilidad de cada nodo, por lo que este coeficiente puede tomarse como un indicador de que tan conflictivo puede ser un nodo ante algún cambio que se presente en la operación y control de los sistemas de potencia; es por ello que es atractivo adicionar un PMU en este tipo de nodos.

$$\left[\frac{\Delta V}{\Delta Q}\right] = \left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]^{-1} = [B_Q]^{-1} \quad (1)$$

$$[B_Q] = [-B] \quad (2)$$

De acuerdo al análisis de sensibilidad efectuado para el sistema de 14 buses los nodos con mayor sensibilidad en la red se muestran en la Tabla 1, en donde hay que aclarar que entre menor sea el valor que se obtenga de (2) la sensibilidad del nodo es mayor y viceversa, es decir, para este caso el nodo de mayor sensibilidad es el bus 13 y el

nodo menos conflictivo es el nodo 4.

TABLA 1 COEFICIENTES DE SENSITIVIDAD QV Y PORCENTAJE DE TVE

No. de bus	Coefficiente de sensibilidad QV	TVE en %
4	38.6542	0.2778
5	35.5336	0.0391
1	19.4471	0.0649
13	10.6697	0.3067

La Tabla 1 contiene una columna en donde se muestra el porcentaje de TVE, el cual se obtiene de una primera estimación de estados con la distribución inicial de PMUs (en los nodos 2, 6, 7, 9) y de acuerdo a los resultados de estimación y los valores medidos, se calcula el TVE de acuerdo a (3).

$$TVE = \sqrt{\frac{[(X_r(n) - X_r)^2 + (X_i(n) - X_i)^2]}{(X_r^2 + X_i^2)}} \quad (3)$$

donde $X = X_r + iX_i$ son los valores fasoriales medidos y $X(n) = X_r(n) + iX_i(n)$ son los resultados fasoriales del estimador

IV. ESTIMADOR DE ESTADOS EN CASO DE ESTUDIO DE 14 BUSES

La estimación de estados con PMUs utiliza mediciones de fasores de voltajes nodales y corrientes de todas las líneas que salen del nodo donde se encuentra un PMU. El algoritmo de estimación de estados con PMUs empleado en esta metodología corresponde a los desarrollados por Phadke y Thorpe en [4], en donde estructurando matrices a partir de las mediciones de los PMUs y utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados obtiene una solución lineal para el problema de estimación, (4).

$$\mathbf{x}_{est} = (\mathbf{B}^T * \mathbf{W} * \mathbf{B})^{-1} * \mathbf{B}^T * \mathbf{W} * \mathbf{z} \quad (4)$$

Donde \mathbf{B} es igual a la concatenación de las matrices de existencia de mediciones de tensión en nodos \mathbf{II} , formada de unos y ceros, y de la matriz de mediciones \mathbf{M} que depende de la matriz de mediciones de corrientes modificada \mathbf{Am} y de las matrices de admitancias serie \mathbf{Y} y derivación o shunt \mathbf{Ys} .

La formación de las matrices se aprecia en las siguientes ecuaciones.

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{II} \\ \mathbf{M} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{Y} * \mathbf{Am} + \mathbf{Ys} \quad (6)$$

$$\mathbf{\Pi}_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{en el bus donde se tomó la medición} \\ 0 & \text{otro} \end{cases} \quad (7)$$

$$\mathbf{Y}_{i,j} = \begin{cases} \text{Valor de admitancia de la rama que está siendo medida} \\ 0 & \text{otro} \end{cases} \quad (8)$$

$$\mathbf{Y}_s = \begin{cases} \text{Valor de admitancia shunt del lado donde se toma la medición} \\ 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mathbf{Am}_{i,j} = \begin{cases} +1 & \text{en nodo } i, -TAP \text{ en nodo } j, \text{ si PMU está conectado en nodo } i \\ -1 & \text{en nodo } i, +TAP \text{ en nodo } j, \text{ si PMU está conectado en nodo } j \\ 0 & \text{otro} \end{cases} \quad (10)$$

Donde **Am** es la matriz de mediciones de corriente modificada obtenida de los PMUs, donde se incluye información de Taps de transformador, cuando aplique el caso; se considera el valor fraccionario de cambiadores de Taps.

W es la matriz de covarianza de las mediciones dada por las especificaciones de cada equipo y **z** es el vector de valores de mediciones de tensión y corriente.

La matriz **W** es una matriz diagonal de dimensión $mt \times mt$, donde mt es igual a la suma del tamaño de las matrices de mediciones de voltaje y de mediciones de corriente, mientras que el vector **z** es un vector columna de las mediciones de los PMUs en formato de número complejo.

De acuerdo a la formación de las matrices del algoritmo de estimación de estados con PMUs, las dimensiones para las matrices en el caso de estudio son:

- II** dimensión de matriz 4x14
- Am** dimensión de matriz 15x14
- Y** dimensión de matriz 15x15
- Ys** dimensión de matriz 15x14
- W** dimensión de matriz 4x14
- z** dimensión de matriz 19x1

Al tener correctamente formadas las matrices del algoritmo del estimador de estados, se procede a implementar la ecuación (4), y posteriormente se analizan los resultados de la estimación, obteniendo el TVE de los nodos mostrado en la Tabla 1.

La estimación de estados con la distribución inicial en el sistema de 14 nodos arroja el nodo con mayor error de voltaje en el nodo 13 tal y como se muestra en la Tabla 1. Si se analiza la tabla se puede identificar que el nodo 13 es el más sensitivo de acuerdo al valor de sensibilidad obtenido, además de que tiene mayor TVE. Por lo tanto en el nodo 13 se anexará el nuevo PMU que aumentará la confiabilidad en el estimador de mejor manera que si se sitúa el medidor en cualquier otro nodo del sistema.

La estimación de estados efectuada para los sistemas se hizo de dos formas: una de manera directa lineal como en (4) y la otra mediante algoritmos de optimización iterativo utilizando herramientas computacionales establecidas en

Matlab, por lo que se obtuvieron dos resultados de estimación como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE TENSIONES NODALES DE CASO BASE DE 14 NODOS CON PMUS EN 2, 6, 7, 9

No. bus	Estudio de flujo	Medición PMU	Estimación lineal	Estimación iterativa
1	1.0600L - 0°		1.0596L - 0.0283°	1.0596L - 0.0295°
2	1.0450L - 4.9800°	1.0427L - 4.9690°	1.0429L - 4.9693°	1.0428L - 4.9683°
3	1.0100L - 12.7300°		1.0081L - 12.6861°	1.0081L - 12.6855°
4	1.0176L - 10.3200°		1.0117L - 10.1479°	1.0148L - 10.2947°
5	1.0195L - 8.7700°		1.0191L - 8.8325°	1.0193L - 8.7879°
6	1.0700L - 14.1600°	1.0733L - 14.2039°	1.0734L - 14.2056°	1.0733L - 14.2055°
7	1.0612L - 13.4000°	1.0542L - 13.3116°	1.0460L - 13.1997°	1.0566L - 13.3437°
8	1.0900L - 13.4000°		1.0747L - 13.2144°	1.0852L - 13.3545°
9	1.0553L - 15.0000°	1.0619L - 15.0945°	1.0699L - 15.1882°	1.0595L - 15.0648°
10	1.0535L - 14.9200°		1.0681L - 15.1107°	1.0577L - 14.9863°
11	1.0582L - 14.6700°		1.0616L - 14.7147°	1.0614L - 14.7147°
12	1.0552L - 15.0200°		1.0585L - 15.0657°	1.0584L - 15.0657°
13	1.0503L - 15.1100°		1.0536L - 15.1546°	1.0534L - 15.1546°
14	1.0351L - 16.0500°		1.0500L - 16.2238°	1.0396L - 16.1084°

Para obtener los valores estimados de la tabla 2 es necesario también considerar las mediciones de corrientes que realizan los PMUs. Estas mediciones son realizadas en los nodos adyacentes a donde se encuentran instalados los PMUs. La tabla 3 muestra las conectividades y sus valores medidos en pu.

TABLA 2 MEDICIÓN DE CORRIENTES EN LÍNEAS ADYACENTES A NODOS CON PMUS INSTALADOS

Bus PMU	Bus adyacente	Corriente
2	1	1.4803L - 174.7208
	3	0.6988L - 7.7881
	4	0.5405L - 0.1166
	5	0.3966L - 0.4045
6	5	0.4090L - 174.6407
	11	0.0547L - 26.6119
	12	0.0774L - 31.0399
7	13	0.1793L - 34.2749
	4	0.3045L - 171.8433
	8	0.2214L - 76.3090
9	9	0.3021L - 34.6160
	4	0.1635L - 173.7837
	7	0.3021L - 145.3840
	10	0.0908L - 58.9173
	14	0.1049L - 41.6381

Los resultados de estimación arrojan que los nodos 7, 8, 9, 10 y 14 sobrepasan el 1% de error en la estimación

lineal, por lo tanto no cumplen con la recomendación de TVE del estándar de PMUs [5]. Por otro lado en la estimación lineal iterativa todos los nodos se encuentran dentro del rango de error permisible del TVE.

El objetivo de la estimación de estados es llegar a los valores exactos presentes en el sistema. Por lo tanto se espera que el estimador obtenga valores muy cercanos a la corrida de flujos, a pesar del ruido o incertidumbre en la medición. Entonces con la finalidad de evaluar el error de la estimación se utiliza la información de la corrida de flujos y los valores estimados de las tensiones nodales. Para la estimación lineal se tiene un error de estimación del 9.8% mientras que para la estimación iterativa se obtuvo un 6.9%

Se propone adicionar un nuevo PMU, el cual, de acuerdo al análisis de sensibilidad se instala en el nodo 13 por lo que se vuelve a efectuar la estimación de estados. En este escenario el estimador contará con 5 PMUs monitoreando la red y aumentarán el número de mediciones de 19 a 23 entre mediciones de voltaje y corriente; después se analiza el comportamiento de los resultados con respecto al primer caso.

TABLA 3 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE CASO BASE DE 14 NODOS CON PMUS EN 2, 6, 7, 9, 13

No. bus	Estudio de flujo	Medición PMU	Estimación lineal	Estimación iterativa
1	1.0600L 0°		1.0597L 0.0252	1.0596L 0.0273
2	1.0450L - 4.9800°	1.0427L - 4.9690°	1.0431L - 4.9708	1.0430L - 4.9692
3	1.0100L - 12.7300°		1.0083L - 12.6909	1.0082L - 12.6901
4	1.0176L - 10.3200°		1.0123L - 10.1655	1.0138L - 10.2912
5	1.0195L - 8.7700°		1.0193L - 8.8195	1.0192L - 8.7954
6	1.0700L - 14.1600°	1.0733L - 14.2039°	1.0733L - 14.1735	1.0728L - 14.2260
7	1.0612L - 13.4000°	1.0542L - 13.3116°	1.0475L - 13.2217	1.0552L - 13.3930
8	1.0900L - 13.4000°		1.0762L - 13.2349	1.0839L - 13.4016
9	1.0553L - 15.0000°	1.0619L - 15.0945°	1.0685L - 15.1642	1.0609L - 15.0251
10	1.0535L - 14.9200°		1.0667L - 15.0864	1.0591L - 14.9465
11	1.0582L - 14.6700°		1.0615L - 14.6823	1.0610L - 14.7356
12	1.0552L - 15.0200°		1.0568L - 15.0810	1.0560L - 15.0038
13	1.0503L - 15.1100°	1.0506L - 15.1005°	1.0500L - 15.1415	1.0505L - 15.0744
14	1.0351L - 16.0500°		1.0435L - 16.1634	1.0401L - 16.0971

Para obtener los valores estimados de la tabla 3 se consideran las corrientes medidas en las líneas de transmisión que salen de los nodos 2, 6, 7, 9 y 13. La tabla 4 muestra las conectividades y sus valores medidos en pu.

TABLA 4 MEDICIÓN DE CORRIENTES EN LÍNEAS ADYACENTES A NODOS CON PMUS INSTALADOS

Bus PMU	Bus adyacente	Corriente
2	1	1.4803L -174.7208
	3	0.6988L -7.7881
	4	0.5405L 0.1166
	5	0.3966L 0.4045
6	5	0.4090L 174.6407
	11	0.0547L -26.6119
	12	0.0774L -31.0399
7	13	0.1793L -34.2749
	4	0.3045L -171.8433
	8	0.2214L 76.3090
9	9	0.3021L -34.6160
	4	0.1635L 173.7837
	7	0.3021L 145.3840
13	10	0.0908L -58.9173
	14	0.1049L -41.6381
	6	0.1462L -173.9209
	12	0.0136L -179.3812
	14	0.0506L -1.7418

Al agregar el PMU en el bus 13, se tiene que los nodos 7, 8, 9 y 10 sobrepasan el 1% de error en la estimación lineal, por lo tanto ahora son 4 valores estimados que no cumplen con la recomendación del estándar de PMUs. En cambio, la estimación iterativa sigue cumpliendo con ese criterio de error. Una mejora en la estimación se aprecia en los errores obtenidos, siendo de un 8.0% para la estimación lineal y un 6.5% para la estimación iterativa.

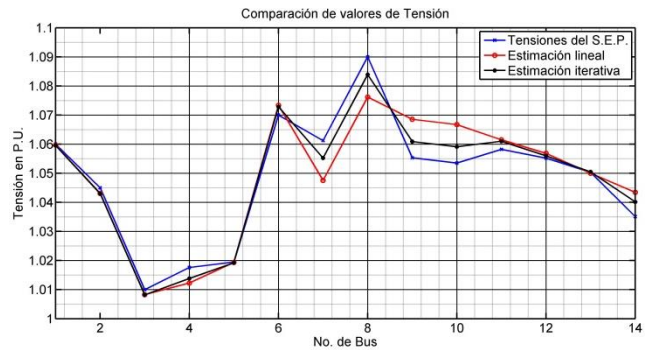


Fig. 4 Magnitud de tensiones nodales en el S.E.P.

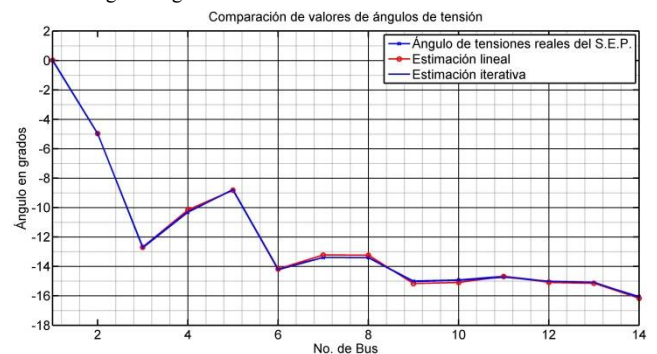


Fig. 5 Comportamiento de los valores angulares de la tensión del SEP.

V. CONCLUSIONES

La metodología presentada se basa en el análisis de sensibilidad QV de la red eléctrica, en donde un coeficiente nos permite establecer el nodo en el que el nuevo PMU puede instalarse para aumentar la confiabilidad del estimador de estados, logrando reducir el error de estimación. Se implementaron dos estrategias de estimación de estados con PMUs; la muy utilizada estimación lineal que es rápida y directa, y se implementó la estimación iterativa empleando métodos de optimización desarrollados por Matlab. En ambos casos se tienen solución en la estimación, logrando mejores resultados con la estimación iterativa al verificar que el indicador de TVE no se rebasa del 1%, en cambio con la estimación lineal se tienen valores mayores al 1% del TVE en ciertos nodos de la red. Al incrementar un PMU al sistema de medición se logró pasar de 5 a 4 valores estimados que no cumplen con el TVE, por lo que de esta manera se tiene aumento de confiabilidad en el estimador. Finalmente los resultados del estimador iterativo no sobrepasaron el 1% de error absoluto en ninguno de los casos de prueba de la IEEE; no se excedió de 0.02 p.u. de diferencia entre los valores de tensión de las simulaciones de flujos de carga y los arrojados por este estimador. Todo esto a pesar de haber aplicado un ruido a todas las mediciones de $\pm 1\%$ y haber contemplado desviaciones estándar de 0.1% y 2.5% en mediciones de tensión y corriente respectivamente, tal y como lo indica el estándar de PMUs.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM/Instituto Tecnológico de La Laguna por las facilidades e instalaciones utilizadas.

I. REFERENCIAS

- [1] Wood, A.J., Et.Al., (2013), *Power Generation, Operation, and Control*, New Jersey: Wiley.
- [2] Álvarez-Ramos, M.J., (2016), "Estudio del impacto de medidores fasoriales hacia observabilidad y confiabilidad de los estimadores de estados de sistemas eléctricos de potencia", Tesis de Doctorado, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón.
- [3] Pérez, C. N., (2017), "Análisis de sensibilidades Q-V, Curso de Capacitación de Personal", Guadalajara, Jalisco: Centro Nacional de Control de Energía, Gerencia de Control Regional Occidental.
- [4] Phadke, A., Et.Al., (2010), *Synchoronized Phasor Measurements and Their Applications*, New York: Springer.
- [5] *IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems*, IEEE Std C37.118-2005 (Revision of IEEE Std. 1344-1995), 2011.
- [6] Hong-Shan, Z., Ying, L., Zeng-Qiang, M., Lei, Y., (2005), "Sensitivity constrained PMU placement for complete observability of power systems", *IEEE /Power Engineering Society*.
- [7] University of Washington, "Electrical Engineering, University of Washington.", Disponible: www.ee.washington.edu/research/pstca.



Camilo E. Conde Limón nació en Durango, Durango México el 28 de Mayo de 1992, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en agosto de 2018 haciendo su defensa de tesis titulada "Estimación de Estados de S.E.P.s con PMUs Analizando Sensitividad", de igual manera obtuvo el título con mención honorífica de Ingeniero Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Durango (ITD) en mayo del 2016. Recibió el reconocimiento al mejor promedio de la carrera de la generación 2011-2015.

El realizó su residencia profesional en la Zona de Operación de Transmisión Durango (ZOTD) en el semestre agosto-diciembre 2015, donde despertó su interés por el análisis, operación y control de los sistemas eléctricos de potencia, ahí mismo efectuó un informe técnico acerca de la simulación de estudios de flujo, cálculo de parámetros de líneas de transmisión, estudios de cortocircuito y estabilidad dinámica ante contingencias de fallas en el software computacional Power System Simulator for Engineering (PSS-E).

El M.C. Conde Limón actualmente se desempeña como analista en el Centro Nacional de Energía, CENAL.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de La Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Ricardo Vargas Salas. Nació en Torreón Coahuila el 7 de Agosto de 1949. Egresado del Instituto Tecnológico de La Laguna de la carrera de Ingeniería Industrial con opción en Eléctrica en Julio de 1971 en Torreón Coahuila México. Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en el I.T.E.S.M. en Junio de 1975. Candidato al grado en Ingeniería Eléctrica de la Sección de graduados de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del I.P.N. Él es profesor investigador y sus áreas de interés incluyen el control de máquinas eléctricas, estudios de estabilidad, Sistemas eléctricos de potencia. El M. C. Vargas ha participado en varias ocasiones en diferentes congresos, entre los cuales se encuentran RVP-AI del IEEE, CNIES.



Michel Rivero Corona. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Rodrigo Loera Palomo. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en 2013 en la misma institución. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de La Laguna. Sus áreas de investigación corresponden a los sistemas electrónicos de potencia, reguladores conmutados de alta frecuencia y teoría de control aplicada a sistemas electrónicos de potencia.

Estudio de la incorporación de un parque de generación eoloelectrónica de alta potencia a un S.E.P.

F.S. Sellschopp-Sánchez^{1*}, J.M. Morales-Domínguez¹, R. Loera-Palomo², M.A. Rivero-Corona², C. Álvarez-Macías¹.

Resumen— La incorporación de grandes bloques de generación de energía eólica a las redes eléctricas de potencia significa importantes retos debido principalmente a la variabilidad del recurso renovable. La variación de velocidad del viento en la generación eoloelectrónica implica principalmente el cambio de potencia de generación y en consecuencia se tendrán modificaciones en las variables de operación de las redes eléctricas. Por un lado está la modificación de los flujos de potencia de la red, provocando que algunos alimentadores reduzcan los niveles de potencia transmitida o hasta el punto de llegar a cambiar el sentido del flujo de potencia. Por el otro lado se encuentra la modificación de los niveles de tensión nodal de la red eléctrica. Debido a esto, es importante estudiar el impacto que tendrá un parque eólico al interconectarlo con una red eléctrica de potencia.

En este artículo se presenta mediante estudios de simulación el análisis del impacto de la incorporación de un parque eólico en una red eléctrica de 9 nodos, revisando las variables de potencia de generación, flujos de potencia entre nodos y tensiones nodales. El parque eólico se conecta en uno de los nodos del sistema, considerando el escenario de diferentes velocidades de viento.

Palabras claves— Energía renovable, generación eléctrica, flujos de potencia, variación de viento, sistema eléctrico de potencia.

Abstract— The incorporation of large blocks of wind power generation into the power electric networks means important challenges due mainly to the variability of the renewable resource. The variation of wind speed in the wind power generation mainly implies the change of generation power and consequently there will be modifications in the operation variables of the electric networks. On the one hand there is the modification on network power flows, causing some feeders to reduce the power levels transmitted, even up to change the direction of the power flow. And on the other side, there is the modification of the nodal voltage levels of the electric network. Due to this, it is important to study the impact that a wind farm will have when interconnected with a power network.

In this paper, simulation studies are presented in order to analyze the interconnection impact of a wind farm in a 9-node network, reviewing the variables of power generation,

power flows between nodes and nodal voltages. The wind farm is connected in one of the nodes of the system, considering the scenario of different wind speeds.

Keywords— Renewable energy, power generation, power flow, wind variation, electric power system.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la incorporación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) ha tenido un notable incremento. Actualmente se ha buscado la implementación y aumento de fuentes sustentables de energía eléctrica, con el fin de disminuir el uso de combustibles fósiles. La actual apertura del mercado del sector energético en México a productores independientes hace que el sector de las fuentes renovables para generación de energía eléctrica esté creciendo de manera importante, [1], [2]. En los últimos años las fuentes renovables de mayor expansión en su utilización son la energía eólica y solar fotovoltaica (FV), [3]. Este tipo de fuentes de energía inagotables y naturales son de comportamiento altamente variable ya que dependen de las condiciones atmosféricas. Es obvio que al considerar la generación de electricidad de gran potencia mediante fuentes renovables, los aspectos de variabilidad antes mencionados son relevantes ya que inducen a modificaciones en el funcionamiento, operación y control de los procesos de conversión de la energía, así como la operación y control de los sistemas eléctricos de potencia que incorporan ese tipo de fuentes y de allí la importancia de modelar y analizar estos sistemas de potencia.

La variabilidad en la generación de energía eléctrica provoca que las redes eléctricas que transportan esta energía renovable se vuelvan, hasta cierto punto, vulnerables. Al contar con mayor o menor volumen de energía a ser transportada, hace que las líneas de conducción de electricidad modifiquen sus índices de cargabilidad y en consecuencia se puede suscitar un problema de estabilidad en el sistema eléctrico de potencia, [4].

El comportamiento estable de un sistema eléctrico de potencia (S.E.P.) depende básicamente del equilibrio entre la cantidad de potencia demandada y la generada, considerando los límites de cargabilidad en los conductores de la red que conlleva tomar en cuenta también sus pérdidas por efecto Joule, así como las cantidades angulares de los nodos de las tensiones y de los

¹ TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coah., México.

² CONACYT – TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Inst. Tec. de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coah., México.

* sellschopp@hotmail.com

alternadores síncronos, [5]. Por otra parte, es bien conocida la relación de la potencia activa de generación y el par mecánico impuesto por la turbina que mueve al generador, todo esto controlado mediante los gobernadores de velocidad. Si un generador síncrono es sobrecargado, el ángulo de carga será mayor, pudiéndose romper el enlace magnético y originando la condición de falla de pérdida de sincronismo. Por tanto, es importante que la operación del generador se mantenga dentro de los límites permisibles y evitar los cambios de carga abruptos, principalmente cuando el sistema eléctrico de potencia se encuentra trabajando cerca de los límites permisibles de operación, [5].

Considerando que actualmente los sistemas eléctricos de potencia incorporan fuentes eólicas y FV de generación de electricidad, la generación típica con alternadores síncronos se está liberando de sobrecarga, relajando de alguna manera a estos generadores. Pero por otro lado se tiene que al incorporar en el sistema de potencia una mayor cantidad de fuentes eólicas y FV, se tiene una pérdida de inercia en el sistema eléctrico, disminuyendo la confiabilidad del sistema. Además, las fuentes eólicas y FV solo convierten la energía disponible en el instante, por lo que al existir cambios en las velocidades de los vientos o la existencia de grandes nubosidades en el cielo, la generación de electricidad se vuelve dependiente de las variables climatológicas que son consideradas de alta variabilidad. Consecuentemente, al existir cambios suaves o abruptos de las fuentes eólica y/o FV, la operación de los generadores síncronos se puede ver comprometida, así como también las redes eléctricas, al provocar modificaciones en los ángulos nodales o ángulos de carga, moviendo de esta manera los flujos de carga que llegan a generar oscilaciones entre generadores síncronos, [5], [6]. En este trabajo se realiza un estudio de la incorporación de fuente de generación eólica a una red eléctrica de potencia utilizando fuentes de alimentación como equivalentes de generación, sin considerar el modelo de los gobernadores de velocidad al establecer una frecuencia fija en las fuentes eléctricas. Este estudio permitirá visualizar de inicio el comportamiento de las tensiones del sistema y el movimiento de los ángulos nodales de tensión, cuando existen cambios de viento abruptos en el parque eoloelectrico.

II. MODELADO Y CONTROL DEL GENERADOR DE INDUCCIÓN DOBLEMENTE ALIMENTADO (GIDA)

El modelo GIDA de manera simplificado e idealizado se puede describir como tres devanados en el estator y tres devanados en el rotor. Estos devanados son una representación ideal de la máquina real, lo que ayuda a obtener un circuito eléctrico equivalente, fig. 1.

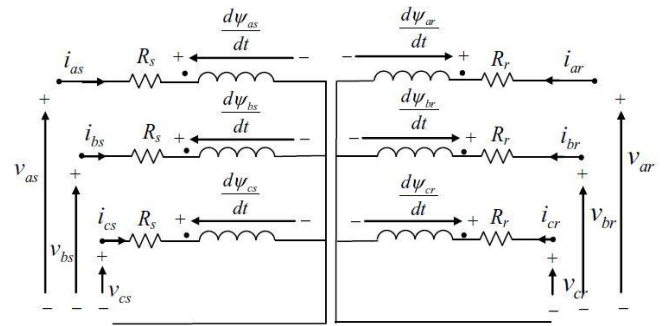


Figura 1. Circuito eléctrico equivalente del GIDA en variables abc.

A. Modelo DQ.

Mediante la aplicación de la notación de espacio vectorial de las ecuaciones del modelo abc, es posible representar las ecuaciones eléctricas en componentes DQ para representar el mismo circuito en coordenadas del estator, fig. 2, [7].

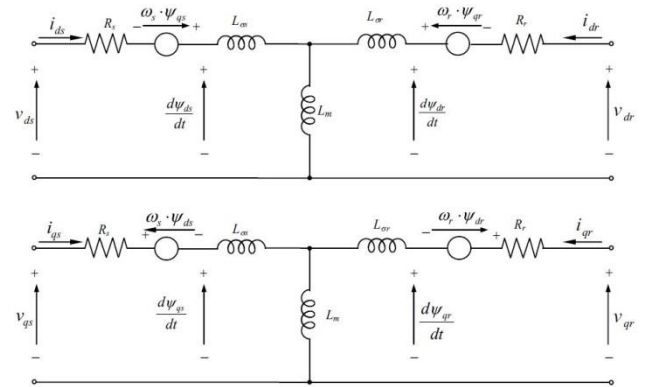


Figura 2. Modelo DQ del GIDA en coordenadas síncronas.

Las ecuaciones en términos de flujo que representan al modelo DQ del GIDA están dadas por la siguiente expresión:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{ds} \\ \Psi_{qs} \\ \Psi_{dr} \\ \Psi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{\sigma L_s} & \omega_s & \frac{R_s L_m}{\sigma L_s L_r} & 0 \\ -\omega_s & -\frac{R_s}{\sigma L_s} & 0 & \frac{R_s L_m}{\sigma L_s L_r} \\ \frac{R_r L_m}{\sigma L_s L_r} & 0 & -\frac{R_r}{\sigma L_r} & -\omega_r \\ 0 & \frac{R_r L_m}{\sigma L_s L_r} & \omega_r & -\frac{R_r}{\sigma L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{ds} \\ \Psi_{qs} \\ \Psi_{dr} \\ \Psi_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ v_{dr} \\ v_{qr} \end{bmatrix} \quad (1)$$

A partir de este modelo desacoplado del GIDA se implementa el control de generación de potencia eléctrica, considerando la alimentación al rotor y las corrientes inyectadas a la red eléctrica; para ello se emplea un control vectorial al generador de inducción.

B. Control vectorial del GIDA.

Esta técnica es ampliamente usada entre las estrategias de control para convertidores conectados a la red. Ofrece buenas características de rendimiento con los requisitos de implementación. La técnica de control vectorial sigue la

filosofía de que representa el sistema que va a ser controlado, en este caso el sistema de lado red en una forma de espacio vectorial empleando dos ejes. Con esto se logra un control adecuado desacoplando las corrientes y las potencias, [8].

El convertidor de lado red se encarga de controlar parte del flujo de potencia del GIDA. La potencia generada por el aerogenerador está parcialmente entregada a través del rotor del GIDA. Este flujo de potencia que pasa a través del rotor fluye también a través del enlace de CD y finalmente se transmite por el convertidor de lado red al sistema de potencia.

Con la técnica de orientación de flujo al estator, las potencias activas y reactivas se desacoplan y se pueden controlar a través de las corrientes del rotor. Por medio de la corriente en eje directo, podemos controlar la potencia activa, mientras que la potencia reactiva se puede controlar a través de la corriente en el eje cuadratura. Las corrientes de referencia pueden calcularse a partir de las potencias deseadas, como se muestra en la Fig. 3. Por lo que se utilizan los lazos de control para que las corrientes de salida sigan estas referencias.

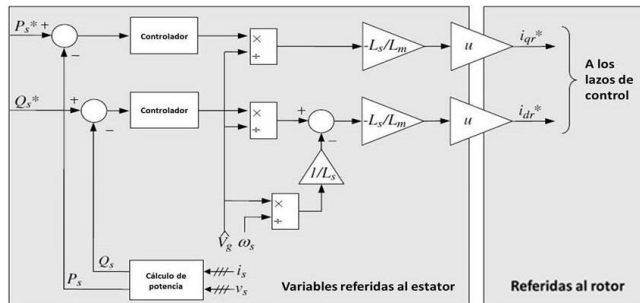


Figura 3. Determinación de las corrientes de referencia.

Las diferentes partes de un control vectorial clásico para el GIDA son:

- Generación de las referencias: cálculo de corrientes de referencia para una potencia activa y reactiva del estator.
- Lazos de control de corriente.
- Transformaciones de marco de referencia.

La Fig. 4 representa el control vectorial completo del GIDA en el marco de referencia orientado utilizando la tensión de red en lugar del flujo del estator. Con esto se reducen los problemas de estabilidad del sistema. El ángulo utilizado en las transformaciones se obtiene a partir de las mediciones de tensión de la red utilizando un PLL [9], [10].

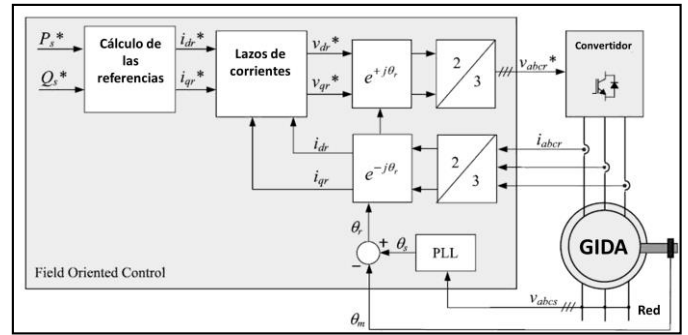


Figura 4. Sistema de control vectorial completo del GIDA.

III. MODELADO DE LA TURBINA EÓLICA

Las turbinas captan la energía del viento para transformarla a energía mecánica, la cual se transmite al generador a través del eje y la caja multiplicadora. Existen una variedad de tamaños y diseños, dependiendo normalmente de la potencia eléctrica que se quiera generar. El par desarrollado por el viento sobre la turbina se calcula con (2).

$$T_w = \frac{P_w}{\Omega} = \frac{1}{2} \frac{\rho C_p v_w^3 \pi R^2}{\Omega} \quad (2)$$

Donde Ω es la velocidad de rotación de la turbina, $\rho=1.25 \text{ kg/m}^3$ es la densidad del aire, v_w es la velocidad del viento, R es el radio del rotor de la turbina y $C_p(\lambda, \beta)$ es el coeficiente de potencia que depende del ángulo de ataque de los álabes (pitch) β y la relación de velocidad periférica de punta de pala o velocidad específica λ .

La velocidad específica indica que la periferia de las aspas circula a una velocidad n veces mayor que la velocidad del viento y es la relación entre la velocidad periférica de las aspas en el punto más exterior sobre la misma a partir del eje de rotación, y la velocidad del viento, esto es:

$$\lambda = \frac{\Omega R}{v_w} \quad (3)$$

El comportamiento del coeficiente de potencia se muestra en la siguiente figura.

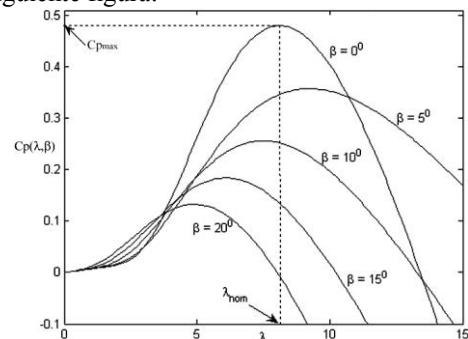


Figura 5 Comportamiento del coeficiente de potencia, [extraída de google.com]

A través de la manipulación controlada de la velocidad de la turbina y del ángulo de ataque de las aspas, se puede extraer la máxima potencia de la energía a cualquier velocidad del viento.

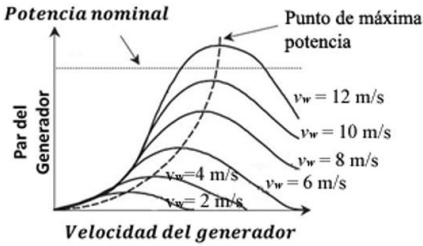


Figura 6 Determinación de máxima potencia, [extraída de google.com]

Empleando esta información de las curvas, el control de generación del sistema eólico estará regulando la cantidad de par mecánico aplicado al generador. Cuando la potencia extraída del viento excede la capacidad nominal de potencia del sistema eólico, entra en función la modificación del ángulo de ataque de los álabes de la turbina, dejando de captar parte de la energía del viento.

IV. MODELO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Se considera un sistema eléctrico de potencia típico de 9 nodos y tres generadores, (WSCC-Western System Coordinated Council), ampliamente utilizado para estudios de estabilidad cuyos parámetros se encuentran en [11], fig. 7 y se construye en PSCAD/EMTDC, fig 8.

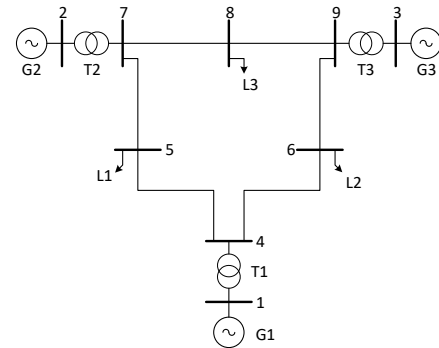


Figura 7. WSCC Sistema de 3 máquinas 9 nodos.

Después de realizar el análisis de flujos de potencia se obtienen tensiones complejas y potencias inyectadas por los generadores tal como se muestra en la tabla I.

TABLA I. FLUJOS DE POTENCIA PARA EL SISTEMA WSCC.

Tipo de nodo	Voltaje (pu)	P_G (pu)	Q_G (pu)	P_C (pu)	Q_C (pu)
1- slack	1.04∠0°	0.716	0.27	--	--
2- PV	1.025∠9.3°	1.63	0.067	--	--
3- PV	1.025∠4.7°	0.85	-0.109	--	--
4- PQ	1.026∠-2.2°	--	--	--	--
5- PQ	0.996∠-4.0°	--	--	1.25	0.5
6- PQ	1.013∠-3.7°	--	--	0.9	0.3
7- PQ	1.026∠3.7°	--	--	--	--
8- PQ	1.016∠0.7°	--	--	1.00	0.35
9- PQ	1.032∠2.0°	--	--	--	--

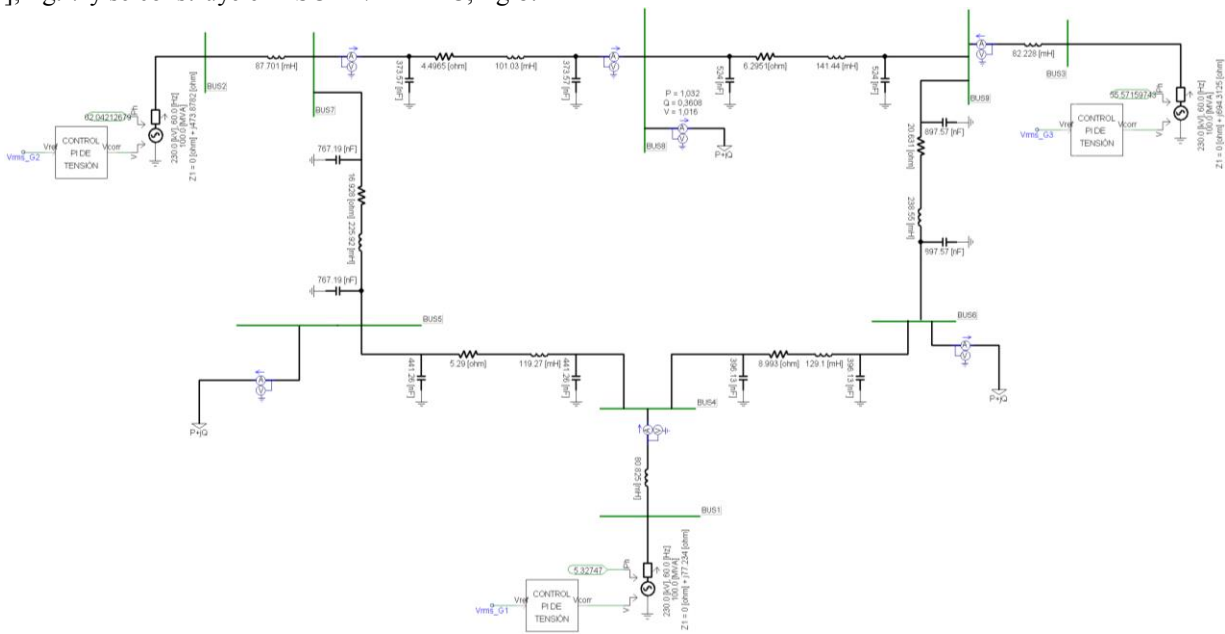


Figura 8. Sistema WSCC de 9 nodos, y tres fuentes controladas modelado en software PSCAD/EMTDC.

V. INTEGRACIÓN DEL PARQUE EÓLICO AL S.E.P.

Se trata de un parque eólico con 50 aerogeneradores de 2 MVA, 690V, 60 Hz, 2 polos, con turbinas de 3 aspas, un

radio de turbina de 40 m y una relación en caja de engranes de 55. Las turbinas tienen mecanismo para ajustar el ángulo de ataque, por lo que se ejerce dicho control cuando la velocidad de viento excede los 12 m/s.

Después de construir el modelo computacional del parque eólico en PSCAD se procede a su integración al S.E.P., teniendo la opción de conectar el parque a alguno de los nodos 3, 5 y 8. Para este trabajo se considera el análisis de flujos teniendo el parque conectado al nodo 5.

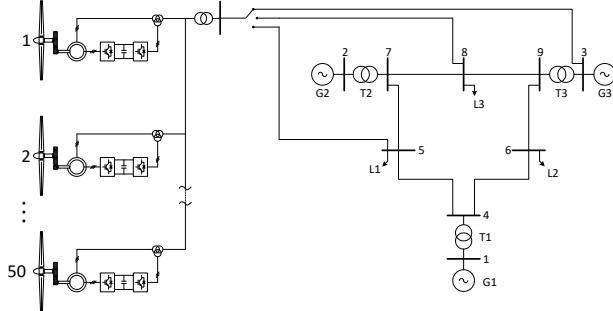


Figura 9. Integración del parque eólico al S.E.P.

Se propone aplicar cambios en la velocidad del viento como se aprecia en la figura 10, donde se aplican cambios escalonados partiendo de un mínimo de 7m/s hasta 17 m/s. El mecanismo de ángulo de ataque de palas se activa de manera controlada una vez que se rebasa la velocidad de 12 m/s, regulando la potencia inyectada tal que no rebase la potencia nominal en estado estable.

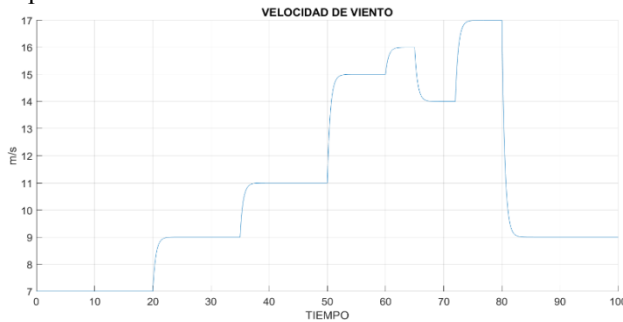


Figura 10. Perfil de perturbaciones de viento.

En la fig. 11 se muestra el cambio en la potencia inyectada por las fuentes convencionales, esto debido a la introducción de potencia por parte del parque eólico a partir de los 10 seg. La participación de los generadores convencionales está determinada por su reactancia X_d , y por ello se tienen diferentes comportamientos en la inyección de potencia eléctrica. Así mismo se aprecian cambios de potencia acordes al perfil de viento cuando la velocidad está por debajo de los 12 m/s.

En la figura 12 y 13 se muestra el cambio controlado en las tensiones y ángulos nodales del S.E.P. debido al control de las plantas de generación convencional y eólica. Estos cambios son aceptables ya que no rebasan el rango de $\pm 5\%$ de tensión nominal en estado estable y hasta un $\pm 10\%$ en condiciones de emergencia [12].

Con el parque eólico se obtienen cambios significativos en los flujos de potencia del S.E.P., fig. 14, y también se ven

modificadas de manera importante las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión, fig. 15.

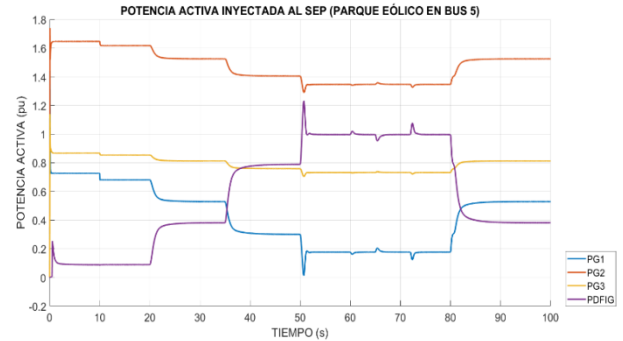


Figura 11. Potencia inyectada por los tres generadores convencionales y el parque eólico.

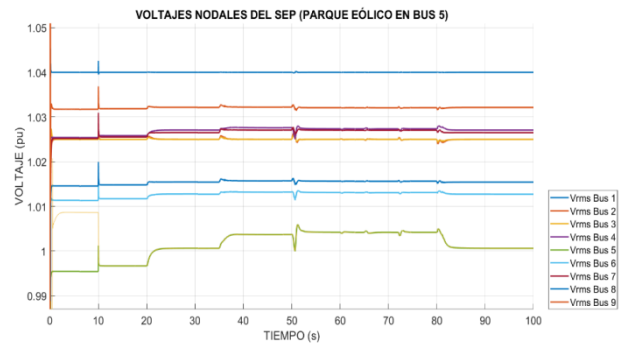


Figura 12. Voltajes nodales del SEP.

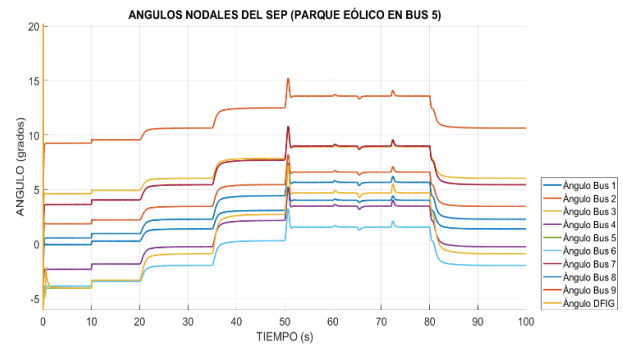


Figura 13. Ángulos nodales.

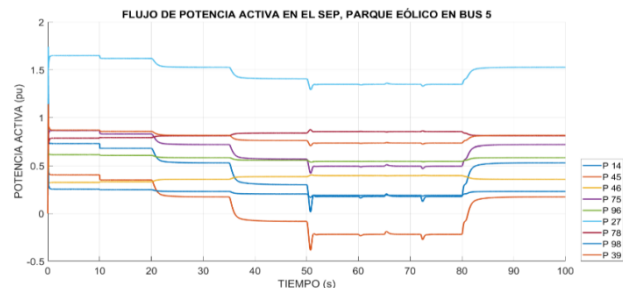


Figura 14. Flujos de potencia en las líneas de transmisión.

La tabla II muestra las modificaciones en los flujos de potencia en las líneas de transmisión del S.E.P.

TABLA II. CAMBIO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Línea	DE	A	Flujo original pu	Flujo con inyección de 0.09 pu (7 m/s)	% de cambio en relación al flujo original	Flujo con inyección de 0.382 pu (9 m/s)	% de cambio en relación al flujo original	Flujo con inyección de 0.789 pu (11 m/s)	% de cambio en relación al flujo original	Flujo con inyección de 1.00 pu (15 m/s)	% de cambio en relación al flujo original
1	1	4	0.727	0.681	-6.3274	0.529	-27.2352	0.3	-58.7345	0.176	-75.7909
2	4	5	0.403	0.349	-13.3995	0.172	-57.3201	-0.083	-120.5955	-0.219	-154.3424
3	4	6	0.324	0.332	2.4691	0.356	9.8765	0.384	18.5185	0.395	21.9136
4	7	5	0.863	0.828	-4.0556	0.716	-17.0336	0.567	-34.299	0.494	-42.7578
5	9	6	0.614	0.607	-1.1401	0.583	-5.0489	0.555	-9.6091	0.543	-11.5635
6	2	7	1.647	1.618	-1.7608	1.525	-7.4074	1.405	-14.6934	1.346	-18.2757
7	7	8	0.784	0.79	0.7653	0.808	3.0612	0.836	6.6327	0.852	8.6735
8	9	8	0.253	0.248	-1.9763	0.23	-9.0909	0.203	-19.7628	0.187	-26.087
9	3	9	0.867	0.854	-1.4994	0.813	-6.2284	0.758	-12.5721	0.731	-15.6863

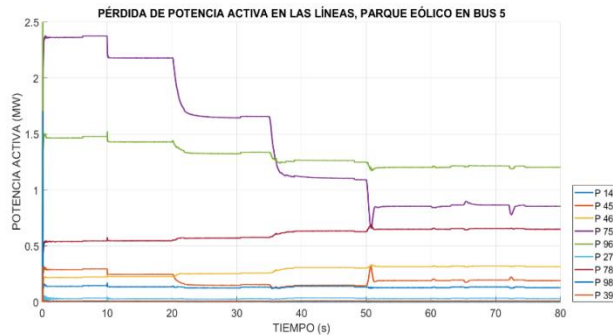


Figura 15. Pérdidas de potencia activa en el SEP.

VI. CONCLUSIONES

La integración de fuentes eólicas a la matriz de generación de electricidad en sistemas eléctricos de potencia trae consigo algunos retos interesantes sobre la redistribución de los flujos de potencia obtenidos a partir de los cambios de velocidad de viento en grandes parques eolieléctricos.

Por un lado, con el S.E.P. en términos de estado estable, se tiene que la generación eléctrica convencional reduce su participación de manera importante en la inyección de potencia visto en generador PG1 de figura 11, en donde dependiendo del nivel de generación de la fuente renovable, podría inclusive salir de operación dicha generación convencional, ya que la entrada de un gran bloque de generación eólica llevó al generador PG1 del 70% al 20% de participación en estado estable. Esto puede abaratar costos de generación en el mercado eléctrico pero con la consecuencia de que puede hacer más vulnerable al sistema eléctrico de potencia. Otro gran beneficio que trae la redistribución de flujos de potencia, al colocar estratégicamente a la generación renovable es que es posible obtener de manera generalizada la reducción de pérdidas en las líneas de transmisión del sistema eléctrico. Por tanto la interconexión de la fuente renovable al sistema eléctrico debe ser cuidadosamente analizada. Así

mismo, se obtuvieron resultados de cambio de dirección de flujo en una línea de transmisión, por lo que los esquemas de protección eléctrica de líneas, ante alguna eventual falla, debe considerar este tipo de escenario.

Por otro lado, con el S.E.P. en términos transitorios, se aprecia que la entrada súbita de bloques de energía eolieléctrica puede llevar a los generadores convencionales a experimentar la motorización, donde el generador PG1 en figura 11 casi alcanza la potencia cero a los 50 segundos. Por tanto, es necesario también realizar el análisis de los controladores de los generadores convencionales para que mitiguen las variaciones que puedan ocurrir en parques de generación renovable, ya que las fuentes renovables son catalogadas como de alta variabilidad.

Finalmente se concluye que la incorporación al S.E.P. de estas fuentes variables debe ser cuidadosamente analizada para evaluar los posibles problemas de cambios de flujos de potencia, reducción de pérdidas, regulación de tensión, estabilidad transitoria del sistema eléctrico y el análisis de impacto a protección de sistemas eléctricos.

VII. REFERENCIAS

- [1]. Secretaría de Energía (2016), *Prospectivas del Sector Energético*, Gobierno Federal, México.
- [2]. Secretaría de Energía (2016), *Prospectivas del Sector Eléctrico 2016-2030*, Gobierno Federal, México.
- [3]. Secretaría de Energía (2016), *Prospectivas de Energías Renovables 2016-2030*, Gobierno Federal, México
- [4]. Keyhani, A. (2011) *Smart Power Grids 2011*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [5]. Kundur, P. (1994), *Power System Stability and Control*, 1st Ed, New York: McGraw Hill.
- [6]. Arrillaga, J. Et.Al. (2001), *Computer Modeling of Electrical Power Systems*, 2nd Ed. New York: Wiley.
- [7]. Krause, P.C. Et.Al. (2002), *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, 2nd Ed. New Jersey: Wiley-IEEE Press.
- [8]. Petersson, A. (2005) "Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines" Chalmers University of Technology, PhD-Thesis.

- [9]. Abad, G. Et.Al. (2011), *Doubly Fed Induction Machine: modeling and control for wind energy generation*, New Jersey: Wiley.
- [10]. Munteanu, J. Et.Al, (2008), *Optimal Control of Wind Energy Systems Towards a Global Approach*, London: Springer, 2008
- [11]. Sauer, P.W. (1998), *Power System Dynamics and Stability*, New York: Prentice Hall.
- [12]. CENACE, Reglas Generales de Interconexión al Sistema Eléctrico Nacional. CFE, CENACE.

VIII. BIOGRAFÍA



Jesús Manuel Morales Domínguez nació en Sabinas, Coahuila México el 22 de Abril de 1992, obtuvo el título de Ingeniero Electromecánico por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera en Julio 2015. Él realizó estudios de posgrado en Ingeniería Eléctrica en el área de Ingeniería de Potencia y Energías Renovables. Las áreas de interés del Ing. Morales son estudios de sistemas eléctricos de potencia que incorporan generación renovable y estabilidad del sistema eléctrico.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Rodrigo Loera Palomo. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en 2013 en la misma institución. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de investigación corresponden a los sistemas electrónicos de potencia, reguladores conmutados de alta frecuencia y teoría de control aplicada a sistemas electrónicos de potencia.



Michel Rivero Corona. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Carlos Álvarez Macías. Nació en la Ciudad de México el 16 de Mayo de 1975. Egresado de la UNAM como Licenciado en Física en 2006. Obtuvo el grado de MC en Electrónica por el INAOE en 2009 y el grado de Doctor en Ciencias e Ingeniería de Materiales por la UNAM en 2014. Él es profesor investigador titular C del Posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna y sus áreas de interés incluyen Nanotecnología aplicada al aprovechamiento de Energía Solar Fotovoltaica, Generación de energía eléctrica y optimización de materiales. El Dr. Álvarez es miembro del S.N.I. nivel I, y ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales.

Impacto en la Operación de un Relé de Sobrecorriente de Tiempo Inverso por Tensión Armónica en la Red Eléctrica

C.A Morales-Bazán¹, F.S. Sellschopp-Sánchez², J.A. Basurto-Mendez³, M.A. Arjona-López³, R. Loera-Palomo³

¹Resumen— Este artículo muestra los resultados que se obtuvieron al experimentar sobre la operación de un relevador de sobrecorriente que se somete a contaminación armónica y ante el incremento de esta. La evaluación experimental se realiza en un sistema de potencia de 4 nodos que se arma con módulos didácticos que simulan un sistema de 380 KV. La inyección de contaminación armónica se realiza mediante una fuente generadora de armónicos. Los resultados de la experimentación muestran que ante el incremento de contaminación armónica se afecta en mayor medida la operación apropiada del relevador. En este caso los armónicos influyen incrementando el tiempo de operación, el cual podría ocasionar una mala operación en la coordinación de las protecciones, pudiendo tener como consecuencia daños muy importantes en los elementos a proteger del sistema de potencia.

Palabras claves—Armónicas, coordinación, relevador de sobrecorriente, sistema de potencia, tiempo de operación.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran diversidad de tipos de cargas que consumen energía eléctrica, donde estas cargas se pueden clasificar en dos grupos generales: cargas lineales y no lineales, [1]. Estas cargas lineales y no lineales consumen corrientes que presentan perfiles de onda senoidales y no senoidales, respectivamente, por lo que el efecto de estas corrientes sobre las tensiones de alimentadores del sistema eléctrico puede repercutir de manera diferente. Por un lado, el incremento de cargas lineales impacta principalmente en la regulación de tensión, por lo que se puede utilizar bancos de capacitores o reguladores de tensión para remediar este problema. Por el otro lado, el incremento de cargas no lineales también repercute en la regulación de tensión, pero dependiendo de las características de la red y de la relación de carga no lineal contra carga lineal, la caída de tensión estará distorsionada a tal grado que la tensión en los alimentadores puede estar también distorsionada y la solución a la regulación de tensión se puede complicar, [2].

El problema de la distorsión en la forma de onda de la tensión de las redes eléctricas es hasta cierto punto de gran

interés. Aquellos usuarios que cuentan con cargas lineales recibirán tensiones distorsionadas y por ende consumirán corrientes distorsionadas o contaminadas. Pero puede presentarse un problema más grave cuando este usuario tiene instalado un banco de capacitores para mejorar su factor de potencia, resultando en que se agrava la distorsión en tensión y corriente debido al fenómeno de resonancia. El problema no es menor para los otros usuarios que tienen instaladas cargas no lineales; los equipos no lineales constan principalmente de dispositivos con electrónica de potencia y están diseñados para recibir una alimentación senoidal a frecuencia del sistema. Dichas cargas no lineales presentan corrientes distorsionadas principalmente por corrientes a frecuencias armónicas, [2]. Por tanto, si la tensión de alimentación está distorsionada por armónicas, en consecuencia la corriente de estas cargas presentará una mayor distorsión en la corriente, pudiendo entonces verse más afectado el dispositivo no lineal y a la vez repercutir más en la distorsión de la tensión de la red eléctrica. En este mismo sentido, cualquier equipo que se encuentre conectado a la red eléctrica distorsionada, sufrirá modificaciones en su operación, pudiéndolos afectar en menor o mayor manera.

Algunos de los equipos conectados a la red eléctrica son los dispositivos de protección, donde la distorsión armónica puede influir negativamente en mayor o menor medida en el funcionamiento del relevador de protección, según su característica y diseño de operación. En estos dispositivos se menciona que un nivel de distorsión en la tensión menor al 20%, no tiene gran efecto sobre la operación de las protecciones [3]. Los interruptores y los fusibles igualmente quedan afectados en su capacidad de interrupción por la presencia de distorsión armónica. [3]. Dado que los relevadores de sobrecorriente necesitan las señales de corriente que provienen de los secundarios de los TC para operar, los relés podrían tener una operación incorrecta ya que los TC llegan a saturarse debido a la presencia de armónicos en la red eléctrica [3]. En este artículo se aborda el problema de la distorsión armónica en la tensión de la red eléctrica cuando un

¹ Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Laguna

s/n, Colonia Centro, C.P. 27000 Torreón, Coahuila, México. camb70@hotmail.com

dispositivo de protección por sobrecorriente debe actuar ante un escenario de falla. Se proponen un caso de contaminación armónica, donde cada armónico se incrementa para lograr un mayor índice de distorsión armónica total, y se mide el tiempo de operación del relé de sobrecorriente. Este tiempo de operación se compara contra el tiempo obtenido cuando la falla se aplica al sistema eléctrico con onda senoidal de 60 Hz. Las gráficas de tiempo contra porcentaje de distorsión se grafican tratando de obtener alguna tendencia en la forma de operación del relé de sobrecorriente.

II. DISTORSIÓN ARMÓNICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los sistemas eléctricos están sujetos a una gran variedad de perturbaciones, y una de éstas es la distorsión armónica de corrientes y tensiones, como se muestra en la Figura 1. Los equipos que están conformados por convertidores electrónicos son las fuentes principales de contaminación armónica, provocando circulación de corrientes distorsionadas por la red eléctrica. Para que la tensión nodal en la red eléctrica esté distorsionada, puede ser porque la caída de tensión en los alimentadores es considerable o porque se presenta un fenómeno de resonancia provocado por la existencia de un circuito tanque y una corriente armónica que excita al circuito tanque, [1], [2].

Los escenarios de contaminación armónica en las redes eléctricas pueden separarse en tres causas:

- Tensión senoidal alimentando carga no lineal que consume corriente distorsionada.
- Tensión no senoidal alimentando carga lineal que consume corriente distorsionada por causa de la fuente.
- Tensión no senoidal alimentando carga no lineal que consume corrientes con mayor grado de distorsión que la causa.

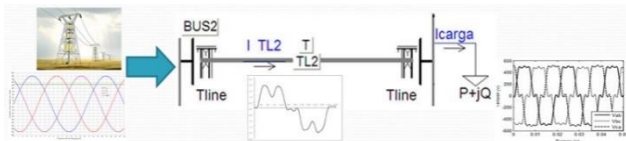


Figura 1. Distorsión de tensión al final del alimentador por corriente distorsionada

En el caso de las señales distorsionadas en una red eléctrica, la aparición de la contaminación armónica en la tensión indica que la corriente distorsionada presenta altos niveles o que ocurre un fenómeno de resonancia combinado

con distorsión de corriente, [1], [2]. A partir de esa tensión distorsionada en la red, todos los equipos eléctricos, sean cargas lineales o no lineales, conectados a la red consumirán corriente distorsionada.

En el caso equipos de protección y de fallas en las redes eléctricas, el tener una tensión de red distorsionada o puramente senoidal si puede hacer la diferencia. Aquellos dispositivos de protección que detectan la diferencial de corriente respecto al tiempo pueden hacer operar incorrectamente a la protección, [3].

Una falla franca se puede catalogar como una gran carga resistiva aplicada a la red eléctrica, por lo tanto, una carga lineal. Cuando la tensión es senoidal y la corriente en el alimentador esta distorsionada, esa gran carga resistiva estará consumiendo una corriente senoidal, similar al perfil de la tensión; por tanto la distorsión armónica no deberá afectar al dispositivo de protección, [3]. Pero cuando el perfil de tensión está distorsionado, dicha gran carga consumirá corrientes distorsionadas, esperando que esto si afecte la operación del dispositivo de protección.

III. RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE

Un relevador que opera cuando sobrepasa un valor de ajuste de corriente se le llama relevador de corriente. Este relevador puede operar de forma instantánea, o con cierto tiempo de retraso [5].

Los relevadores digitales no se ven afectados por los cambios en las magnitudes de los armónicos ya que los filtros en las etapas de procesamiento de señal digital eliminan los armónicos mayores de la frecuencia fundamental mediante una conversión de análogo a digital [6].

Un buen sistema de filtrado en un relé digital debe cumplir con lo siguiente [7]:

- Respuesta de pasabanda cercano a la frecuencia del sistema.
- Rechazo a CD y rampa
- Rechazo o atenuación de Harmónicos
- Respuesta Rápida
- Buen comportamiento Transitorio

El relevador a utilizar es el modelo SPAJ 131C de la marca ABB. Este relevador no cuenta con filtros digitales para eliminar la contaminación armónica. El relevador puede usarse para protección contra sobrecorriente de falla monofásica, bifásica y trifásica. Puede utilizarse como protección de sobrecorriente de tiempo definido y de tiempo inverso. La relación entre la corriente y el tiempo cumple con las normas BS 142 de 1996 e IEC 60255-3 y generalmente se expresa como:

$$t = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} \tag{1}$$

Donde:

t = es el tiempo de operación en segundos

k= Multiplicador de tiempo

I= corriente medida

I>= corriente de arranque

El relevador maneja cuatro características con diferentes pendientes. Se determina la pendiente de las curvas tiempo/corriente mediante los valores de α y β los cuales se muestran en la Tabla I.

TABLA I

Curvas características de tiempo/corriente	α	β
Normalmente Inverso	0.02	0.14
Muy Inverso	1.00	13.5
Extremadamente Inverso	2.00	80.0
Inverso de larga duración	1.00	120.0

En la Figura 2 se muestra las gráficas tiempo/corriente para la característica Normalmente Inversa para diferentes valores de k.

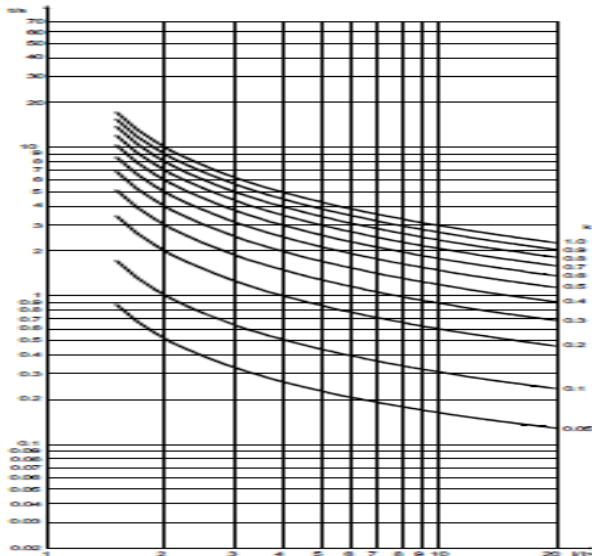


Figura 2. Curva característica Normalmente Inverso

Hay que tomar en cuenta que las gráficas de las características del relevador incluyen un tiempo de filtrado y un tiempo de detección, además del tiempo de disparo del relé. Cuando el tiempo de operación del relé se calcula utilizando la expresión matemática anterior (1), se le deben

de agregar 30 ms para tomar en cuenta los tiempos mencionados [8].

IV. SISTEMA EXPERIMENTAL CON CASOS DE ESTUDIO

El diagrama esquemático del sistema eléctrico experimental se muestra en la Figura 3 y en la Tabla II se da la información del sistema de potencia de 4 nodos.

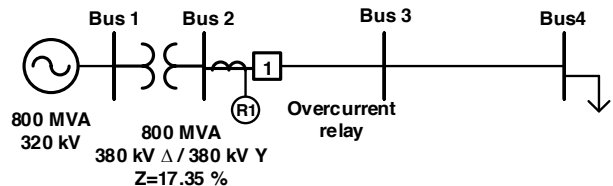


Figura 3. Sistema de Prueba de 4 nodos

TABLA II
Información del sistema de prueba de 4 nodos

Subestación	800 MVA, 380 KV
Transformador	800 MVA, 380 KV Δ / 380 KV Y, Z=17.35%
Línea 2-3	13+j109.3 Ω, Longitud 360 Km
Línea 3-4	13+j109.3 Ω, Longitud 360 Km
Carga	Resistiva Trifásica, 400 W cada fase, variable
Relé de Sobrecorriente	R1 ABB SPAJ 131C

En el diagrama unifilar se observa claramente el relevador de sobrecorriente de tiempo inverso, el cual se encuentra ubicado en el bus 2 y la falla se aplica al final del alimentador, en el bus 4.

Este mismo sistema está conformado experimentalmente con módulos didácticos de De Lorenzo, como se muestra en la Figura 4, donde la alimentación principal del circuito se realizó con una fuente de potencia de inyección armónica para controlar el contenido armónico de la señal de tensión. Posteriormente, se aplica una falla a tierra al final del alimentador con la finalidad de evaluar el tiempo de operación del relé de sobrecorriente.

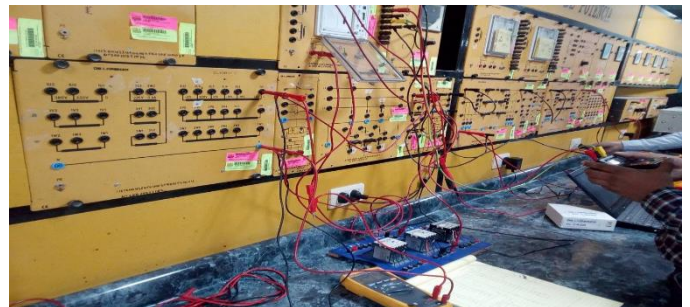


Figura 4. Módulos

Los casos de estudio para evaluar la operación del relé de sobrecorriente en este sistema eléctrico consta de la aplicación de un voltaje nominal a 60 Hz, sumándole de

manera individual un armónico, así el índice de distorsión armónica total (DAT) se incrementa de manera controlada.

$$DAT_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Donde el subíndice h indica el orden armónico, V es la tensión RMS y V_1 es la tensión RMS a frecuencia fundamental de 60 Hz.

El armónico que se le inyectó al sistema fue el armónico 5, presentando valores de DAT del 0%, 25%, 50% y 75%.

V. RESULTADOS

El Relevador de Sobrecorriente fue probado con un generador de armónicos como Fuente del sistema de Potencia. Armónicos de 5 Orden son alimentados al sistema de Potencia con diferentes valores de DAT: 0%, 25%, 50% y 75%. Se aplicó una falla en el último bus del sistema de potencia. La corriente de cortocircuito le llega al relevador por medio de TCs simulando una relación de 1000:1.

Los ajustes que se le dieron al relevador con la característica Normalmente Inverso fueron los siguientes:

Ajuste de la Toma de Corriente (TS): 0.5 A

Ajuste de Indicador de Tiempo (TDS): 0.05

Se aplicaron diez fallas trifásicas en el bus 4 sin contaminación armónica para obtener tiempos de operación del relevador. Los resultados se muestran en la Tabla III.

TABLA III

Tiempos de operación del relevador con una falla trifásica en el nodo 4

Número de Falla	Tiempo de Operación del Relevador (s)
1	0.50
2	0.51
3	0.52
4	0.47
5	0.45
6	0.47
7	0.47
8	0.50
9	0.47
10	0.47
	$\bar{x} = 0.483$

En otro escenario se inyectó al sistema de potencia contaminación armónica de quinto Orden primero con un DAT del 25%, luego con un DAT 50% y por último con un

DAT del 75%. Se aplicó una falla trifásica en el bus 4 con los diferentes porcentajes de DAT antes mencionados. Los resultados se dan en la Tabla IV.

TABLA IV

Tiempos de operación del relevador con una falla trifásica en el nodo 4 para diferentes valores de DAT

Número de Falla	Tiempo de Operación del Relevador (s)		
	DAT 25 %	DAT 50%	DAT 75%
1	0.576	0.64	0.768
2	0.576	0.64	0.640
3	0.576	0.64	0.640
4	0.576	0.64	0.768
5	0.528	0.64	0.768
6	0.576	0.64	0.768
7	0.576	0.64	0.768
8	0.576	0.64	0.768
9	0.576	0.64	0.768
10	0.576	0.64	0.768
	$\bar{x} = 0.571$	$\bar{x} = 0.64$	$\bar{x} = 0.742$

Estos resultados se graficaron y se muestran en la Figura 5. En la cual se observa el incremento en el tiempo de operación del relevador conforme aumenta el porcentaje del DAT en forma lineal.

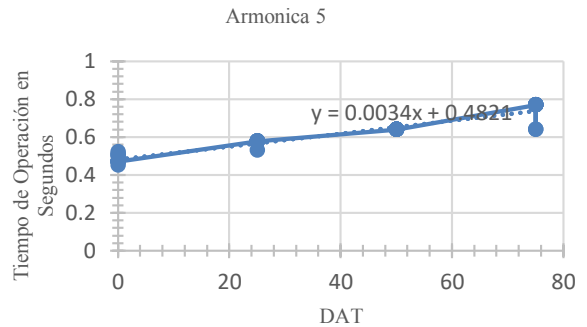


Figura 5. Gráfica de tiempo de operación del relevador SPAJ 131C para una característica normalmente inversa con aumento en porcentaje en el DAT.

En la Figura 5 se observa claramente que la gráfica tiene un comportamiento lineal la cual está regida por una ecuación de línea recta.

VI. CONCLUSIONES

En esta evaluación experimental se demostró que los armónicos tienen un alto impacto en los tiempos de operación del relevador. A mayor índice de Distorsión Armónica Total mayor es el tiempo de operación del relevador de sobrecorriente.

La importancia de que los relevadores cuenten con un sistema de filtrado de armónicos para poder mitigar esos efectos es esencial. Los relevadores modernos digitales

cuenta ya con un buen sistema de filtrado para tener inmunidad ante la presencia de armónicos.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna a través de la División de Estudios de Posgrado e Investigación en el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por las facilidades otorgadas para llevar a cabo este estudio. También se reconoce el apoyo recibido del Tecnológico Nacional de México.

VIII. REFERENCIAS

- [1] S. Surya, M. F. McGranaghan, R. C. Dugan and H. W. Beaty, *Electrical Pwer Systems Quality*, McGraw-Hill Press Feb. 2012.
- [2] F. C. De la Rosa, *Harmonics, Power systems, and Smart Grids*, CRC Press, 2nd Ed. April 2015.
- [3] Arrillaga, N. R. Watson, *Power System Harmonic*, John Wiley and Sons
- [4] H. Tin, A. Abu-Siada and M. S. Masoum, "Impact of Harmonics on the Performance of Over-Current Relays", IEEE AUPEC 2011.
- [5] P.M. Anderson "Power System Protection" Wiley-IEEE Press Nov. 1998
- [6] Benabes, Philippe, and Catalin-Adrian Tugui, "Effective modeling of CT functions for fast simulations using MATLAB-Simulink and VHDLAMS applied to Sigma-Delta architectures" Circuits and System (ISCAS), 2011 IEEE International Symposium on, IEEE, 2011.
- [7] Schweitzer III, Daqing Hou, "Filtering for Protective Relays", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Pullman, Washington.
- [8] ABB, "SAPJ 131 C Overcurrent relay User's manual and Technical precision"2002

IX. BIOGRAFÍA



Morales Bazán Carlos Alberto. Nació en Torreón, Coahuila, México; el 25 de Marzo de 1969. Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial en Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990. En 2012 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna.

Él tiene experiencia en el área de Instalaciones Eléctricas tanto residencial, comercial e Industrial. También ha trabajado como supervisor de mantenimiento electromecánico. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de interés son las de Protecciones en los Sistemas Eléctricos de Potencia Máquinas y Redes Eléctricas. El M.C. Morales ha participado con artículo en la Reunión Internacional de Verano RVP-AI 2012 de la IEEE realizado en Acapulco Guerrero, México 2012 y en CONAEE 2013 y 2014.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Nació en Cd. Victoria, Tamaulipas, México; el 26 de Agosto de 1974. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tepic en 1994 en la ciudad de Tepic, Nayarit, México. Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en 1999 en el Instituto Tecnológico de La Laguna y en 2003, el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el mismo instituto en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía, estimación paramétrica y observadores. El Dr. Sellschopp es reconocido como perfil deseable PROMEP además de ser miembro de la IEEE.



Basurto Méndez Jesús Abraham. Nace en diciembre de 1994 en Torreón, Coahuila, México. A los 18 años terminó su bachillerato en el Instituto de Desarrollo Bilingüe Boston. Continuando sus estudios universitarios en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, graduándose en el 2018 de obteniendo su título en Ingeniería Eléctrica.

El comienza su vida laboral en la misma institución en donde cursó su bachillerato dando cursos de matemáticas en dicha Institución a los 18 años. En el 2015 ya laboraba formalmente en la misma institución como maestro de tiempo completo. Para el año 2017 entra a laborar a la universidad María Ester Zuno de Echeverría (MEZE). Actualmente labora en la empresa RPM en Torreón, Coahuila, México. Nunca perdiendo el interés en indagar más sobre la calidad y eficiencia de la utilización de la energía eléctrica.

Ing. Basurto Obtuvo el primer lugar de su generación en la especialidad de potencia. Continúa con su visión de dar catedra en una universidad y así poder alentar a las futuras generaciones sobre la importancia del uso adecuado de la energía eléctrica.



Marco Antonio Arjona López. Nació en Santa María, Tepic, Nayarit, México; el 13 de junio de 1966. Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en 1988 en la ciudad de Durango, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990 en Torreón, Coahuila México. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica por el Imperial College of Science,

Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1996. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas eléctricas y energías renovables. El Dr. Arjona es reconocido por Sistema Nacional de Investigadores como investigador desde el año de 1992. En el año 2008, le otorga la distinción de Investigador Nacional Nivel II, gracias a los trabajos de investigación. Además, pertenece a la IEEE como senior member del año 2008 a la fecha.

Estudio de resonancias armónicas en red eléctrica ante variación de carga

S. Martínez-Morales^{1*}, F.S. Sellschopp-Sánchez¹, R. Loera-Palomo², M.A. Rivero-Corona², R. Vargas-Salas¹

Resumen— Las redes eléctricas están compuestas básicamente por elementos resistivos e inductivos, y los efectos capacitivos aparecen cuando se insertan bancos de capacitores o cuando las líneas de transmisión son de mediana a gran longitud. Esta composición de la red, incluyendo efectos capacitivos, llega a ser relevante cuando las cargas, o inclusive las fuentes de generación renovable, producen una distorsión en la forma de onda de las variables de tensión y corriente. Por un lado se encuentra la respuesta natural de la impedancia de la red eléctrica en un rango de frecuencia, resultando en un espectro armónico de la red que proporciona información de las resonancias existentes en dicho sistema eléctrico. Por otro lado se tiene la distorsión de las variables eléctricas que se define por el espectro armónico de las cargas. La combinación de ambos espectros cuando existe coincidencia de armónicos, detona un problema importante de contaminación armónica en la red eléctrica. En este trabajo se estudia el comportamiento del espectro de resonancias de la red eléctrica considerando diferentes escenarios de carga con la finalidad de evaluar la modificación de dicho espectro de resonancias. Esto permitirá determinar cuando existe mayor susceptibilidad a altas contaminaciones armónicas en la red eléctrica.

Palabras claves— Distorsión Armónica, Espectro de Resonancia, Resonancia Paralelo, Resonancia Serie, Variación de Carga.

Abstract— Electrical networks are composed basically of resistive and inductive elements, and the capacitive effects appear when capacitor banks are inserted or when the transmission lines are of medium to large length. This network composition, including capacitive effects, becomes relevant when loads, or even renewable generations sources, produce a distortion in the waveform of the voltage and/or current. On the one hand there is the natural response of the impedance of the electrical network in a frequency range, resulting in a network harmonic spectrum that provides information of the resonances existing in the electrical system. On the other hand we have the distortion of the electrical variables that is defined by the load harmonic

spectrum. The combination of both spectra when there is a coincidence of harmonics, triggers an important problem of harmonic contamination in the electrical network. In this work, the behavior of the resonance spectrum of the electrical network is studied considering different load scenarios in order to evaluate the modification of the resonances spectrum. This will allow to determine when there is greater susceptibility to high harmonic contamination in the electrical network

Keywords— Harmonic Distortion, Resonance Spectrum, Parallel Resonance, Series Resonance, Load Variation.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo importante para reducir los efectos provocados en la red eléctrica debido a las nuevas formas de generación de energía eléctrica por medio de las fuentes renovables. Estas nuevas formas de generación de energía como lo son la eólica y la solar-fotovoltaica han traído consigo uno de los problemas más comunes que afectan a la calidad de la energía en los sistemas eléctricos de potencia, deformando las señales de onda de tensión y de corriente, producidas en gran medida por el fenómeno denominado “distorsión armónica”, problema que prácticamente puede llegar a afectar a toda la red eléctrica, [1], [2]. Es así que, frente a estos efectos que modifican la respuesta natural de la impedancia en la frecuencia, se ha realizado un análisis que determine el impacto que estos efectos tienen sobre la red eléctrica considerando la variación de carga en el sistema.

Para el análisis se utiliza el simulador PSCAD para extraer los datos de comportamiento del modelo de una red eléctrica típica representada por medio de un circuito equivalente pi. Este circuito es sometido a diferentes condiciones de operación con el propósito de obtener la evolución de su comportamiento, para posteriormente visualizar y analizar los resultados por medios gráficos.

II. ASPECTOS TEÓRICOS EN EL ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El estudio realizado se basa en una línea de transmisión de potencia de longitud larga donde se llega a contemplar los efectos capacitivos, los cuales ocasionan resonancias en la red eléctrica que se pueden identificar en el espectro de resonancias. Para comprender de mejor manera los

¹TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

²CONACYT – TecNM – Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

*samuelmtz08@hotmail.com.

términos clave que envuelven este estudio, es conveniente definir de manera concreta cada uno de ellos.

A. Distorsión Armónica.

Cuando la tensión o la corriente de un sistema eléctrico tiene deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal, se dice que la señal está distorsionada. La distorsión puede deberse a, [3]:

- *Fenómenos transitorios* tales como el arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas eléctricas, fallas por cortocircuito entre otras.

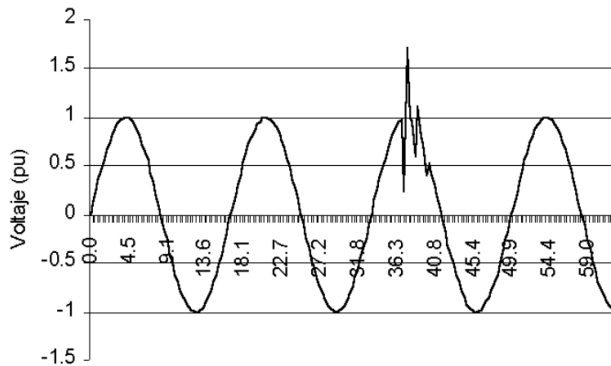


Figura 1. Efecto en la tensión por conmutación de capacitores

- *Condiciones permanentes* que están relacionadas con armónicas de estado estable, las cuales son producidas por las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica.

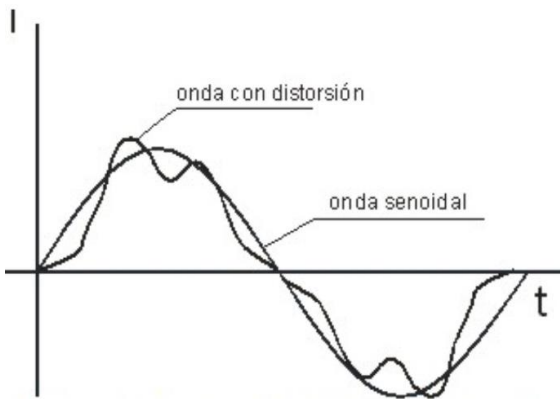


Figura 2. Distorsión armónica producida por cargas no lineales

En las redes eléctricas es común encontrar que las señales tengan una cierta distorsión en la forma de onda, que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de los equipos y dispositivos. Sin embargo, cuando los niveles de distorsión son altos, la red eléctrica tiene problemas en su operación. Es por ello que existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión,

dependiendo del nivel de tensión de operación y de su influencia en el sistema. [3].

Cuando la onda de corriente o de tensión medida en algún punto de la red eléctrica se encuentra distorsionada, con una relación a la onda senoidal que idealmente se espera tener, se dice que se trata de una onda contaminada con componentes armónicas. Para que se considere como una distorsión armónica las deformaciones en una señal, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Que la señal tenga valores definidos dentro de un intervalo
- Que la señal sea periódica, teniendo la misma onda en cada ciclo de la señal de tensión o corriente
- Que la distorsión armónica se presente en cualquier instante de tiempo, es decir, que sea permanente y no transitoria.

B. Espectro de Resonancia

El espectro de resonancia es una representación gráfica de la impedancia de la red eléctrica en función de la frecuencia. Al tener en la red elementos que sus valores dependen de la frecuencia como lo son las inductancias y las capacitancias, cuyos comportamientos son totalmente opuestos, el comportamiento de la impedancia con respecto a la frecuencia puede presentar variaciones importantes tanto en magnitud como en ángulo de fase a diferentes frecuencias, [1], [2]. Comúnmente, cuando se desea representar de manera general la impedancia de las redes eléctricas desde algún punto, se hace por medio de una impedancia equivalente, la cual está constituida por los elementos resistivos, inductivos y capacitivos que conforman la red original. Dicha impedancia equivalente se compone de una parte real y una parte imaginaria.

$$Z_{eq} = R + j(X_L - X_C) \tag{1}$$

En donde la parte real R corresponde a la parte resistiva, mientras que la parte imaginaria conformada por X_L y X_C corresponden a los elementos inductivos y capacitivos respectivamente. Estas últimas definidas como reactancia inductiva y capacitiva, sus valores dependen de la frecuencia:

$$X_L = 2 * \pi * f * L \tag{2}$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \tag{3}$$

Siendo L el valor de la inductancia y C el de la capacitancia.

Cuando la parte imaginaria de la impedancia es cero, es decir, que la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva

son iguales a una determinada frecuencia se dice que la red entra en resonancia. A la frecuencia en donde se produce el fenómeno se le conoce como frecuencia de resonancia.

C. Resonancia Paralelo.

En una resonancia paralelo la impedancia de un circuito se vuelve extremadamente alta, lo que conduce a una sobretensión de igual manera muy alta cuando existe una corriente a dicha frecuencia de resonancia paralelo. En un caso extremo, incluso cuando una corriente armónica es relativamente pequeña puede causar picos de tensión destructivamente altos a la frecuencia de resonancia. La resonancia paralelo es muy común cuando existen bancos de capacitores o líneas de CA largas conectadas con transformadores de potencia. En este caso las grandes capacitancias e inductancias comienzan a resonar entre sí.

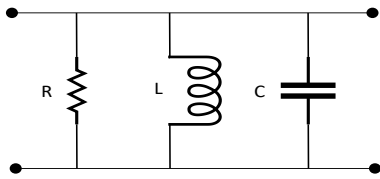


Figura 3. Circuito RLC en paralelo

$$Z_p = \frac{R \times j\omega L \times (-j\frac{1}{\omega C})}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} \tag{4}$$

En este circuito, la condición de resonancia ignorando R es tomando el denominador de (4):

$$j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 0 \tag{5}$$

Entonces, la frecuencia de resonancia es:

$$f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{6}$$

Por lo que la impedancia en resonancia paralelo, Z_p , tiende a ser elevada, figura 4.

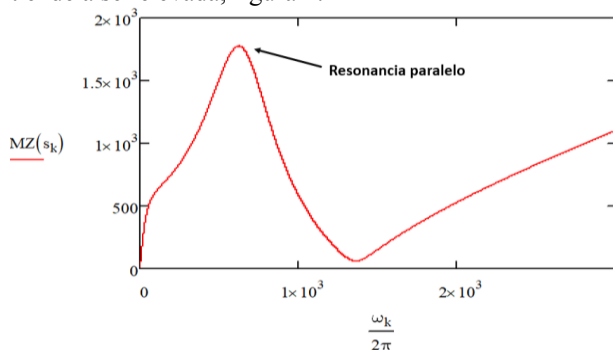


Figura 4. Resonancia paralelo

D. Resonancia Serie.

La resonancia en serie difiere de la resonancia en paralelo en su baja impedancia a la frecuencia de resonancia. En la frecuencia de resonancia, la reactancia inductiva y capacitiva se vuelven igual. En este caso, la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva se anulan, por lo que la impedancia de la red eléctrica a dicha frecuencia solo consiste en una resistencia. Como las resistencias de los conductores son normalmente muy bajas, la reducción de la impedancia puede generar corrientes notablemente altas.

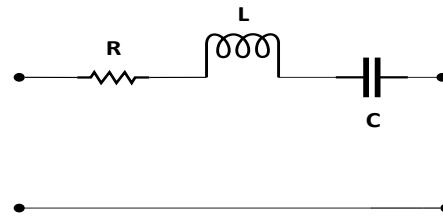


Figura 5. Circuito RLC en serie

La conexión en serie simple del circuito resonante se muestra en la figura 5 y la impedancia de tal circuito es la siguiente:

$$Z_s = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \tag{7}$$

En el caso de la resonancia serie, la impedancia total en la frecuencia de resonancia se reduce exclusivamente al componente del circuito resistivo. Suponiendo que $R = 0$, es decir, se deduce la frecuencia de resonancia:

$$j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 0 \tag{8}$$

Lo que conduce a:

$$f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{9}$$

Un ejemplo de la resonancia serie se muestra en la figura 6

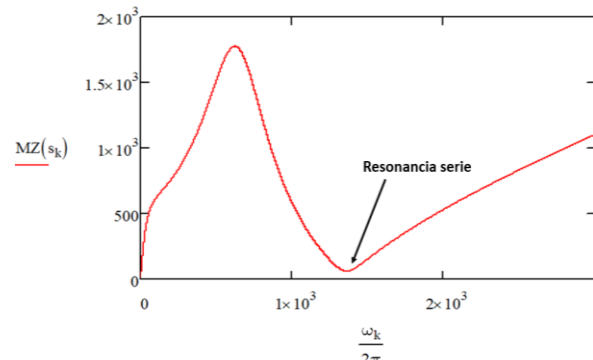


Figura 6. Resonancia serie

E. Modelado de la red eléctrica

Las líneas de transmisión de energía eléctrica se pueden modelar por medio de un circuito equivalente haciendo uso de los parámetros concentrados que conforman este modelo. El circuito equivalente pi considera la resistencia y la inductancia serie de los conductores, y la capacitancia en derivación que se llega a presentar en líneas de longitud media y larga, [4]-[6].

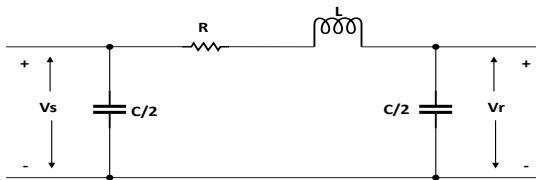


Figura 7. Circuito equivalente

Los datos utilizados para realizar el modelado de este estudio se han tomado de [4].

TABLA I
PARÁMETROS DE LÍNEAS

Serie Z		Y en paralelo	
R p.u	X p.u	Mvar	$\frac{Y}{2}$ p.u
0.01008	0.05040	10.25	0.05125

En la Tabla I se muestran los parámetros en p.u. de la línea de transmisión que se ha modelado; el simulador PSCAD que es donde se lleva a cabo el modelado solo permite hacerlo en valores reales, es decir que se tiene que realizar la conversión de valores en por unidad a valores de resistencia, inductancia y capacitancia. Para esto se ha considerado una potencia y una tensión base del sistema de 100 MVA y 230 kV respectivamente, además se ha agregado una carga nominal de 100 MW y 75 MVARs la cual se ha variado desde un 5% hasta un 100% con respecto a la carga nominal.

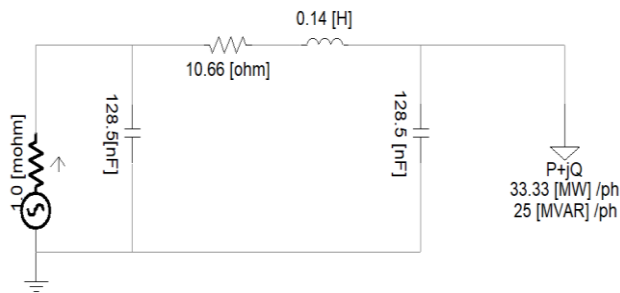


Figura 8. Red eléctrica modelada

El espectro de resonancia se obtiene por medio de una

interfaz misma de PSCAD, la cual genera un archivo de texto con datos de la impedancia para cada valor de frecuencia y que pueden ser graficados en un software matemático externo.

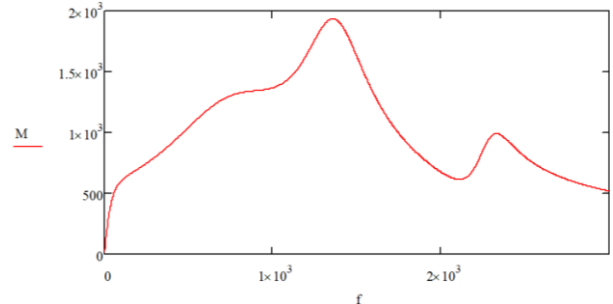


Figura 9. Respuesta en frecuencia del sistema

Como se muestra en la figura 9 la respuesta en frecuencia del sistema en condiciones nominales presenta dos frecuencias de resonancias paralelo producidas por las dos capacitancias presentes en el circuito. Al variar la carga del sistema se modifican las condiciones de operación, lo cual a su vez modifica la impedancia equivalente del mismo, por lo que se espera que la respuesta en frecuencia también se vea afectada.

III. RESULTADOS DE CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio que se proponen consideran la variación de carga al circuito equivalente. Para cada valor de carga se obtiene el espectro de frecuencias de la red, tomando como punto de medición la interconexión de la carga con la red eléctrica. La siguiente tabla muestra los porcentajes y tipos de carga empleados en este estudio.

TABLA II
PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE CARGA

Casos	P	Q
1	5% al 100%	5% al 100%
2	0%	5% al 100% inductiva

Los resultados obtenidos por los estudios realizados en el sistema para cada nivel de carga se grafican para visualizar mejor el comportamiento de la impedancia en la frecuencia ante variación de carga.

A. Caso 1

Para el primer caso, la potencia real P, así como la potencia reactiva Q de la carga del sistema se varían desde un 5% hasta 100% con respecto a la carga nominal (100 MW y 75 MVARs). Para obtener una representación más exacta del comportamiento de la impedancia en el espectro de resonancia la variación de carga se realiza en intervalos de 5%.

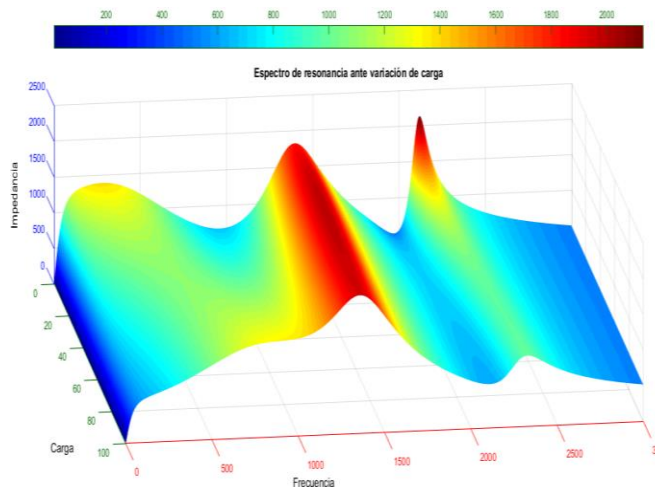


Figura 10. Espectro de resonancia ante variación de carga

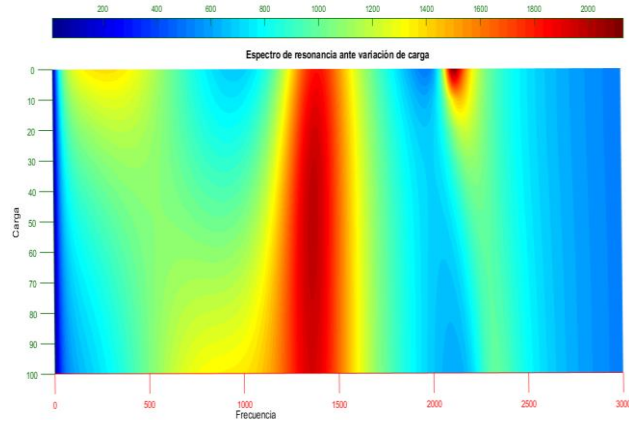


Figura 11. Vista superior del espectro de resonancia

Al visualizar los resultados gráficos se aprecia que cuando existe menor carga, aparece con mayor intensidad una resonancia paralelo a la frecuencia de 2200 Hz, mientras que a la frecuencia de 1400 Hz se aprecia de menor intensidad. Así mismo, se aprecia un ligero incremento de resonancia paralelo a baja frecuencia, alrededor de los 250 Hz. Respecto a la resonancia serie, solo se aprecia que existe a una frecuencia cercana a los 2000 Hz. Por otro lado, cuando existe incremento de carga, se visualiza una modificación importante al espectro de frecuencias, por lo que el espectro armónico debe ser analizado en este aspecto.

B. Caso 2

En este caso, se considera no tomar en cuenta la potencia real P de la carga, por lo que solo se tiene potencia reactiva en el sistema. La potencia reactiva en forma de una carga inductiva de igual forma se varía desde un 5% hasta un 100% con respecto a la carga reactiva nominal en intervalos de 5% entre cada nivel de carga. La potencia real P de la carga se ha omitido para visualizar el impacto

que puede llegar a representar una carga puramente inductiva en el comportamiento de la impedancia.

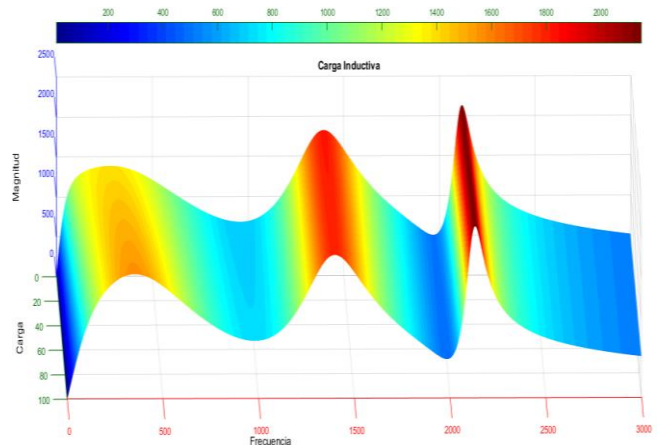


Figura 12. Espectro de resonancia ante variación de carga inductiva

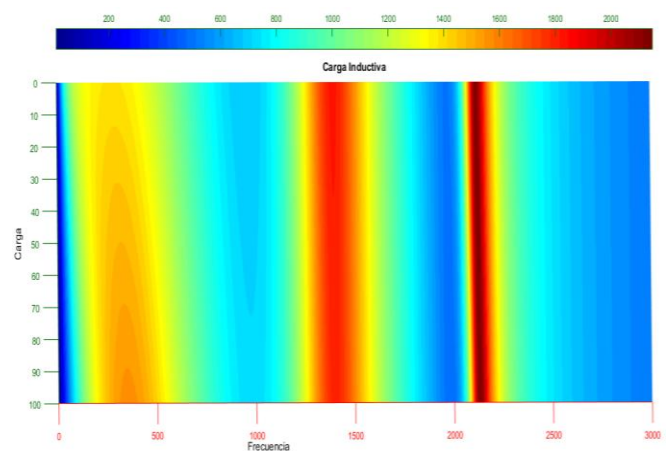


Figura 13. Vista superior del espectro de resonancia de carga inductiva

Al no considerar la parte resistiva de la carga para este caso, la cual actúa como un amortiguador ante las resonancias que puedan existir en el sistema, los resultados obtenidos a través de las gráficas demuestran un comportamiento diferente de la impedancia en la frecuencia con respecto al caso anterior. Al no tener una parte resistiva que ayude a amortiguar las resonancias existentes, el comportamiento de la impedancia no es afectado considerablemente ante la variación de carga, ya que, ante las condiciones extremas de operación, es decir ante un 5% y un 100% el valor de la impedancia es casi la misma a lo largo del espectro de frecuencia, a excepción del pequeño cambio que existe en la primera resonancia paralelo que se ubica alrededor de los 250 Hz. En la primera frecuencia de resonancia paralelo, con una carga inductiva al 5%, se visualiza que ocurre cercano a los 250 Hz mientras que con una carga máxima inductiva la resonancia paralelo ocurre a los 350 Hz. Las otras dos

resonancias paralelo ocurren a la misma frecuencia sin importar el nivel de carga con el que cuente el sistema.

IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos del estudio de resonancias ante la variación de carga, se concluye de manera general que el comportamiento de la impedancia operacional de la red eléctrica depende del nivel de carga de potencia activa o real con el que esta opere. Sin embargo, cuando no existe potencia real que ayude a amortiguar las resonancias que se puedan llegar a presentar en el sistema, la impedancia de este tendrá un comportamiento similar sin importar el nivel de carga inductiva.

V. REFERENCIAS

- [1] Francisco C. De La Rosa (2006). *Harmonics and Power System*, Taylor and Francis.
- [2] J.C Das (2015). *Power System Harmonics and Passive Filter Designs*, IEEE- Wiley.
- [3] *IEEE Recommended Practice and Requerements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Standard 519- 2014.
- [4] William D. Stevenson (1996). *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education.
- [5] Norman Balabanian (1969). *Electrical Network Theory*. John Wiley & Sons.
- [6] Norman Balabanian. (1964). *Linear Network Analysis*. John Wiley & Sons

VI. BIOGRAFÍA



Martínez Morales Samuel. Nació en Torreón Coahuila el 8 de Junio de 1995. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Diciembre de 2016 Torreón Coahuila México. Actualmente estudia una maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en la línea de investigación en potencia y energías renovables. Sus áreas de investigación son la calidad de la energía eléctrica, así como la incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Sellschopp Sánchez Francisco Sergio. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Loera Palomo Rodrigo. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en 2013 en la misma institución. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de investigación corresponden a los sistemas electrónicos de potencia, reguladores conmutados de alta frecuencia y teoría de control aplicada a sistemas electrónicos de potencia.



Rivero Corona Michel. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Vargas Salas Ricardo. Nació en Torreón Coahuila el 7 de Agosto de 1949. Egresado de la carrera del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Industrial con opción en Eléctrica en Julio de 1971 en Torreón Coahuila México. Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Junio de 1975. Candidato al grado en Ingeniería Eléctrica de la Sección de graduados de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Él es profesor investigador del Departamento de Estudios de Posgrado en Investigación del ITL en la ciudad de Torreón Coahuila. Sus áreas de interés incluyen el control de máquinas eléctricas, estudios de estabilidad, Sistemas eléctricos de potencia. El M. C. Vargas ha participado en varias ocasiones en diferentes congresos, entre los cuales se encuentran recientemente RVP-AI del IEEE en 2013 y el CNIES también en 2013.

Quadratic step-up DC-DC converter for photovoltaic applications

D. de la Rosa-Romo¹ davidrr@yahoo.com, R. Loera-Palomo², F.S. Sellschopp-Sánchez¹, M.A. Rivero-Corona², C. Álvarez-Macías¹.

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna.

² CONACyT – Instituto Tecnológico de la Laguna. 27000 Torreón, Coah., México.

Resumen—El incremento en la demanda de energía, problemas medio-ambientales y la reducción de combustibles fósiles, ha llevado a buscar alternativas energéticas como el incremento de la generación solar-fotovoltaica. Sin embargo, es conocido que las aplicaciones fotovoltaicas presentan ciertos compromisos en su implementación, como: a) la generación de energía eléctrica es altamente variable dada su dependencia de las condiciones climáticas; b) la cantidad de potencia generada es dependiente del voltaje en terminales del arreglo fotovoltaico, presentando un punto de máxima potencia, el cual cambia de posición en función de la temperatura e irradiancia incidente; c) Los dispositivos fotovoltaicos presentan un bajo voltaje de operación; entre otros compromisos. En este contexto, se propone la implementación de un convertidor cuadrático en no-cascada, el cual presenta la característica de una alta ganancia del voltaje, así como la reducción de la potencia procesada desde su puerto de entrada hasta su puerto de salida. Además, en este convertidor es implementado un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) de tipo perturbar-observar, con el propósito de maximizar la potencia generada de módulos fotovoltaicos.

Palabras claves— Algoritmo, Convertidor, Cuadrático, Fotovoltaico, MPPT.

Abstract—The increase in the demand of energy, environmental problems and the reduction of fossil fuels, has led to look for alternative energies such as the increase of solar-photovoltaic generation. However, it is known that photovoltaic applications have certain commitments in their implementation, such as: a) the generation of electrical energy is highly variable given its dependence on climatic conditions; b) the amount of power generated is dependent on the voltage in terminals of the photovoltaic array, presenting a point of maximum power, which changes position as a function of the temperature and incident irradiance; c) The photovoltaic devices have a low operating voltage; among other commitments. In this context, the implementation of a quadratic converter in non-cascade is proposed, which has the characteristic of high voltage gain, as well as the reduction of the power processed from its input port to its output port. In addition, a maximum power point tracking (MPPT) algorithm of disturbance-observe type is implemented in this converter, with the purpose of maximizing the power generated from photovoltaic modules.

Keywords— Algorithm, Converter, MPPT, Photovoltaic, Quadratic.

I. INTRODUCCIÓN

En años recientes, el agotamiento de combustibles fósiles, el incremento de la demanda de energía, y la preocupación por el cambio climático, marcan la necesidad de incrementar la energía generada a través de fuentes de energía renovables. Aunado a lo anterior, el aumento de cargas electrónicas, sistemas de variación de velocidad, cargas para iluminación tipo LED, entre otras, requieren de múltiples etapas de conversión (AC-DC, DC-AC); lo cual causa pérdidas de energía antes de la aplicación final. Para abordar esta limitación, se han propuesto sistemas en DC, los cuales ofrecen alta eficiencia y confiabilidad [1-7].

Con la intención de incrementar la eficiencia, así como disminuir el uso de fuentes de energía no renovable; se han desarrollado sistemas que proveen energía de fuentes renovables que se les conoce como Generadores Distribuidos de Energía Renovable (DREGs), donde la mayoría de estos generan energía en DC. Dentro de los DREGs podemos encontrar: paneles fotovoltaicos, celdas de combustible, generadores eólicos, entre otros.

Las características Voltaje – Corriente de los paneles fotovoltaicos se ven afectadas por las condiciones de irradiación y temperatura. El voltaje y la corriente se deben controlar para rastrear la máxima potencia de estos sistemas. Las técnicas de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) se utilizan para extraer la máxima potencia disponible de un panel. En [8] se lleva a cabo una comparación de los algoritmos MPPT más utilizados en sistemas de generación fotovoltaicos.

El uso y desarrollo de esquemas de generación renovable a nivel residencial, complejos urbanos, así como en otro tipo de ambientes, involucra retos importantes, como son las tecnologías de generación, electrónica de potencia, sistemas de control y sistemas de protección. En este escenario, el sistema propuesto corresponde a un convertidor derivado de una estructura en no-cascada, el cual permite reducir las etapas de procesamiento de potencia. Además, el uso de celdas básicas tipo buck-boost

y boost sobre la estructura en no-cascada permite obtener una topología cuadrática, la cual presenta una alta ganancia dependiente del cuadrado del ciclo de trabajo. Finalmente, es implementado un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) sobre el convertidor propuesto.

II. ESTRUCTURA DEL CONVERTIDOR CUADRÁTICO

El convertidor cuadrático propuesto se basa en una estructura en no-cascada tipo I-IIA, como se muestra en la Figura 1. Esta estructura, así como otras configuraciones, fueron propuestas en [9] para el desarrollo de convertidores con corrección de factor de potencia y regulación del voltaje de salida. Sin embargo, se ha demostrado que estas estructuras son de utilidad para la generación de topologías de convertidores de DC-DC [10,11].

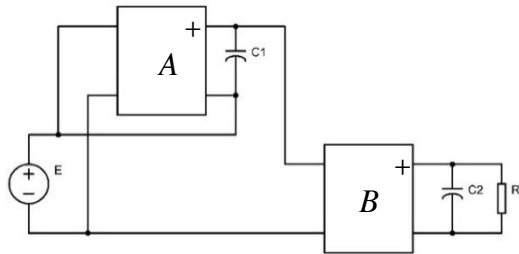


Figura 1. Estructura de la configuración no-cascada I-IIA

En la estructura de la Figura 1, asumiendo que los bloques A y B son celdas básicas de conmutación, se observa un camino de transferencia directa de potencia, donde una fracción de la potencia proporcionada por la fuente de alimentación no es procesada por la celda A. Este hecho implica una reducción de la potencia procesada, mejorando su eficiencia desde una concepción teórica. Por otro lado, y bajo un escenario de aplicación fotovoltaico, la celda A es la encargada de procesar sólo una fracción de la potencia generada por el sistema fotovoltaico, esto apoyando en la tarea de extracción de la máxima potencia. La celda B apoya en el incremento de la ganancia del convertidor para aumentar el voltaje de salida. En este contexto, es usada una celda básica de conmutación tipo buck-boost (Figura 2 (a)) en la celda A y una celda boost (Figura 2 (b)) en el bloque B.

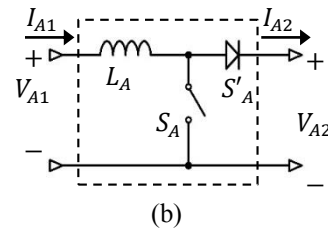
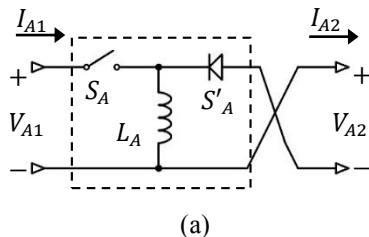


Figura 2. Celdas básicas de conmutación. (a) buck-boost, (b) boost.

La implementación de las celdas básicas de la Figura 2 en la estructura en no-cascada I-IIA resulta en la topología mostrada en la Figura 3. Como se observa, la topología del convertidor conmutado consta de dos inductores, dos capacitores, dos interruptores activos y dos interruptores pasivos. En este esquema, los interruptores activos determinan la operación del convertidor, siendo estos los elementos de control para alcanzar los objetivos de extracción de la máxima potencia del sistema fotovoltaico y elevación del voltaje de salida.

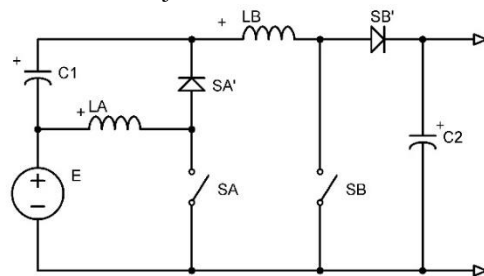


Figura 3. Topología derivada de la estructura I-IIA

Con el propósito de aumentar la confiabilidad del convertidor, así como reducir las etapas de activación de los interruptores, se opta por reducir la cantidad de interruptores activos a uno. En este sentido se realiza un proceso de síntesis de circuito para obtener una topología equivalente. Adoptando el esquema de injertos [12], donde se establece que un arreglo de dos interruptores puede reducirse solo si éstos comparten un nodo común y operan de forma sincronizada. La topología resultante de aplicar el proceso de síntesis se muestra en la Figura 4.

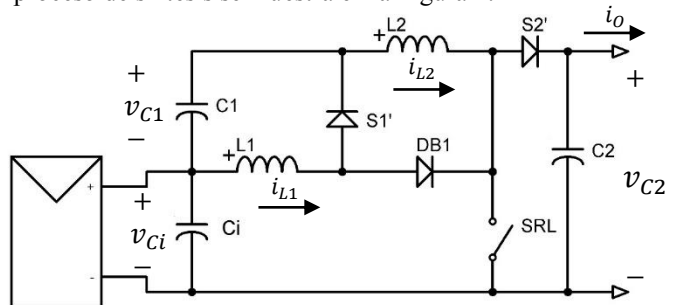


Figura 4. Topología equivalente bajo una alimentación fotovoltaica.

En la topología de la Figura 4 se muestra en el puerto de entrada del convertidor un arreglo fotovoltaico y un capacitor de acoplamiento C_i , siendo este último de uso común en sistemas fotovoltaicos. En la topología del convertidor se observa que se mantiene el uso de cuatros dispositivos semiconductores, donde el interruptor S_{RL} es el elemento de control del convertidor.

Para obtener el punto de operación del convertidor bajo estudio, es necesario definir los principios de aproximación de rizo pequeño, balance volt-segundo del inductor y balance de carga del capacitor. En [13] se presenta el desarrollo de estos principios útiles en el análisis de convertidores conmutados. Ahora son aplicados los principios antes mencionados a las ecuaciones de corriente de los capacitores y voltaje de los inductores como se expone a continuación.

A través de la aproximación de rizo pequeño y definiendo q como la función de conmutación del interruptor activo ($1 =$ cerrador, $0 =$ abierto), el voltaje en el inductor L_1 está dado por las siguientes expresiones:

Cuando $q = 1$:

$$v_{L1} = V_{Ci}.$$

Cuando $q = 0$:

$$v_{L1} = -V_{C1}.$$

Aplicando el principio de balance volt-segundo del inductor, se obtiene la siguiente expresión

$$0 = V_{Ci}D - V_{C1}(1 - D),$$

Despejando V_{C1}

$$V_{C1} = \frac{V_{Ci}D}{(1 - D)}. \quad (1)$$

De la misma forma en la que se llevó a cabo el análisis del voltaje en L_1 , se analiza el voltaje en el inductor L_2 . Además, en el caso de los capacitores, el principio de balance de carga es aplicado a las expresiones de corriente de capacitor cuando $q = 1$ y $q = 0$. Como resultado, se obtiene el resto de expresiones que corresponden al punto de operación del convertidor.

$$V_{C2} = \frac{V_{Ci}}{(1 - D)^2}, \quad (2)$$

$$I_{L2} = \frac{I_o}{(1 - D)} = I_{PV}(1 - D), \quad (3)$$

$$I_{L1} = \frac{I_o}{(1 - D)^2} = I_{PV}, \quad (4)$$

$$I_{PV} = \frac{I_o}{(1 - D)^2}, \quad (5)$$

$$I_{PV} = \frac{P_{PV}}{V_{PV}}, \quad (6)$$

$$V_{Ci} = V_{PV}. \quad (7)$$

A través de la expresión (2) se observa que la relación de conversión de voltaje del convertidor, dado por la relación del voltaje en el puerto de salida (V_{C2}) entre el voltaje en el puerto de entrada (V_{Ci}) del convertidor, está en función del cuadrado del ciclo de trabajo, implicando que la topología propuesta corresponde a un convertidor cuadrático. Además, la estructura de (2) implica que la ganancia del convertidor es elevadora, siendo adecuado en aplicaciones fotovoltaicas

A. Panel fotovoltaico

En un sistema fotovoltaico, el elemento más pequeño es la celda fotovoltaica, la cual permite una transformación directa de la energía proveniente del Sol en energía eléctrica. La conexión de celdas en serie y/o paralelo forman arreglos fotovoltaicos. Independientemente de si se trata de una celda o un arreglo fotovoltaico, su comportamiento es igual bajo condiciones de irradiancia incidente uniforme. La operación de módulos fotovoltaicos está definida por sus curvas características corriente - voltaje ($I - V$) y potencia - voltaje ($P - V$), en la Figura 5 se muestra este tipo de curvas características.

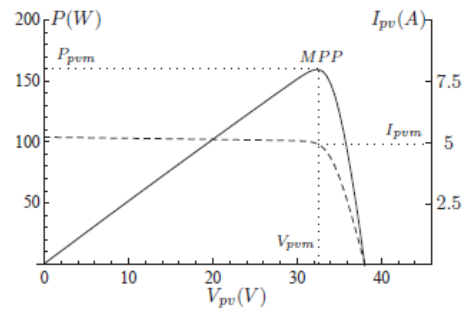


Figura5. Curva ($P - V$) e ($I - V$) de un dispositivo fotovoltaico

Como se observa en la Figura 5, la curva $P - V$ (línea sólida) presenta un punto donde la potencia es máxima o punto de máxima potencia (MPP), el cual ocurre a un voltaje específico en terminales del arreglo fotovoltaico. Debido a que la instalación de sistemas fotovoltaicos es costosa, se busca la operación de sistemas fotovoltaicos en el MPP. Por otro lado, la curva $I - V$ (línea segmentada) muestra que el arreglo fotovoltaico se comporta como una fuente de corriente hasta antes del MPP, después de este punto el arreglo se empieza a comportar como una fuente de voltaje.

El modelo de un módulo fotovoltaico está dado por:

$$I = I_{PV} - I_0 \left[e^{\left(\frac{V + R_s I}{V_t a} \right)} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p}, \quad (8)$$

donde I y V son la corriente y el voltaje en terminales del

módulo fotovoltaico, I_{PV} es la corriente generada por las celdas fotovoltaicas del módulo, I_o es la corriente de fuga del diodo, R_s es la resistencia equivalente en serie del arreglo, R_p es la resistencia equivalente en paralelo, a es el factor de idealidad y, V_t es el voltaje térmico, dado por:

$$V_t = N_s k T / q, \quad (9)$$

siendo N_s el número de celdas en serie conectadas dentro del módulo fotovoltaico. I_{PV} e I_o están definidos por:

$$I_{PV} = (I_{PV,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_n}, \quad (10)$$

$$I_o = \frac{I_{SC,n} + K_I \Delta T}{e^{(V_{OC,n} + K_V \Delta T) / a V_t} - 1}. \quad (11)$$

De las expresiones anteriores, y considerando que $\Delta T = T - T_n$, los valores de $I_{PV,n}$, $I_{SC,n}$ y $V_{SC,n}$ son obtenidos a partir de una prueba en condiciones estándar, donde se considera a $G_n = 1000 \frac{W}{m^2}$, $T_n = 25^\circ C$. T es la temperatura actual del sistema y, G es la irradiancia incidente actual.

Como se muestra en la Figura 6, se puede trazar una recta desde el origen hasta cualquier punto de la curva. Bajo la concepción de una resistencia conectada en terminales del módulo PV, la pendiente de esta recta se asocia con el inverso de la resistencia ($1/R$) conectada al módulo, dado por la ley de Ohm ($I = V/R$). En este contexto, si la resistencia tiene un valor apropiado, cuya recta pase por el punto dado por (V_{MPP}, I_{MPP}) , el valor resistivo será óptimo (R_{OPT}). Esta resistencia (R_{OPT}) permitirá extraer la máxima potencia del módulo fotovoltaico, lo cual se busca en arreglos fotovoltaicos comerciales.

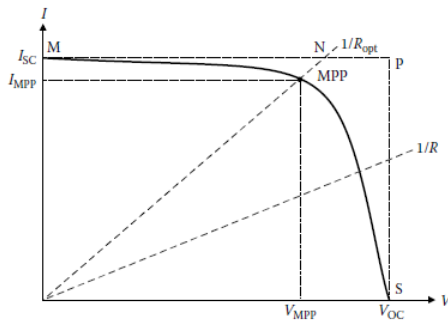


Figura 6. Punto de máxima potencia en curva $I - V$

III. ALGORITMO DE SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA (MPPT)

En el contexto de convertidores para aplicaciones fotovoltaicas, la resistencia óptima que permite la extracción de la máxima potencia del módulo fotovoltaico está asociada a la relación voltaje en terminales del panel

(V_{PV}) con la corriente entregada por el mismo (I_{PV}). La Figura 7 muestra esta relación, definiendo esta relación como $R_{conv} = V_{PV} / I_{PV}$, y sustituyendo las expresiones del punto de operación, se obtiene:

$$R_{conv} = \frac{(1 - D)^4 V_{C2}}{I_{PV}} = \frac{(1 - D)^4 V_{C2}^2}{P_{PV}}, \quad (12)$$

donde V_{C2} es el voltaje en el puerto de salida del convertidor y D el ciclo de trabajo del modulador por ancho de pulso (PWM), que proporciona la señal de disparo del interruptor activo (S_{RL}). La ecuación (12) muestra una dependencia del valor de la resistencia del convertidor con el ciclo de trabajo (D).

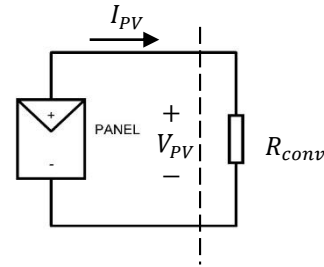


Figura 7. Aproximación del convertidor a una resistencia por su relación voltaje-corriente.

Con el propósito de que el convertidor alcance el valor óptimo de resistencia (R_{opt}), a través de la señal de control D , se implementó un algoritmo MPPT del tipo *Perturbar y Observar* (P&O) para extraer la máxima potencia del panel. con lo anterior también se obtiene una alta eficiencia, así como una condición de operación estable en términos de potencia.

El algoritmo P&O corresponde a un algoritmo que no requiere conocer la información del modelo del convertidor. El principio de operación de este algoritmo se describe a continuación. A través de la señal de ciclo de trabajo del convertidor se perturba el voltaje en terminales del panel V_{pv} en una dirección, si la potencia P_{pv} se incrementa, entonces el punto de operación se ha movido hacia el punto de máxima potencia (MPP) y el voltaje del panel debe perturbarse nuevamente en la misma dirección. Por el contrario, si P_{pv} se decrementa, entonces el punto de operación se ha movido en dirección opuesta al MPP, en consecuencia V_{pv} debe perturbarse en dirección contraria. La Figura 8 muestra un diagrama a bloques de la implementación de este algoritmo en el sistema generación de energía fotovoltaica propuesto.

Este algoritmo puede ser implementado fácilmente en un ambiente computacional o microcontrolador. Dado que el convertidor conmutado estará conectado a las terminales de salida del panel fotovoltaico, la señal perturbada por el algoritmo es la señal de ciclo de trabajo del convertidor.

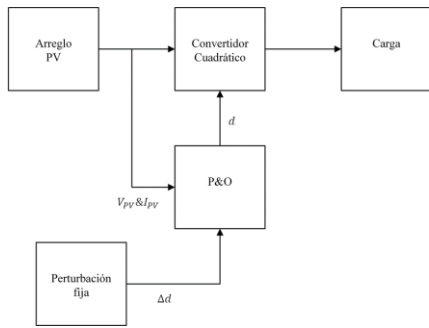
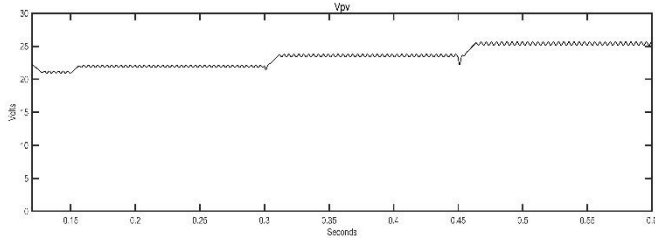


Figura 8. Diagrama a bloques de la implementación del algoritmo P&O

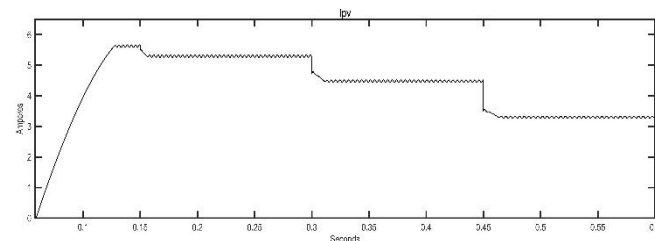
IV. RESULTADOS

Para validar la funcionalidad del convertidor cuadrático propuesto y el algoritmo de seguimiento del MPP, se llevó a cabo la simulación del sistema de generación de energía fotovoltaica. El cual está formado por un panel fotovoltaico, el convertidor cuadrático tipo I-IIA (Figura 5) y, conectado el puerto de salida del convertidor a una fuente de DC de 200 V, emulando así la integración del sistema a un a micro-red de DC.

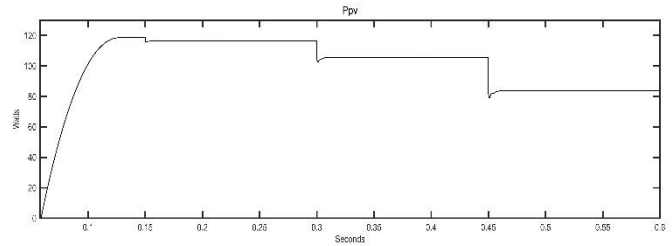
La simulación se llevó a cabo en el ambiente computacional Simulink. La Figura 9 muestra los resultados obtenidos de (a) V_{PV} , (b) I_{PV} y (c) P_{PV} que representan las condiciones de operación del panel fotovoltaico modelo BPX 47-451A.



(a)



(b)



(c)

Figura 9. (a) Voltaje, (b) corriente y (c) potencia en terminales del panel con la operación del MPPT.

En (10) se observa que la corriente fotogenerada depende del valor de irradiancia y de la temperatura en la superficie del panel. En la simulación se aplicaron cambios de irradiancia (G) manteniendo la temperatura constante. Los cambios se aplicaron como sigue: $920 \text{ W/m}^2 \rightarrow t = 0$, $800 \text{ W/m}^2 \rightarrow t = 150 \text{ ms}$, $600 \text{ W/m}^2 \rightarrow t = 300 \text{ ms}$, $400 \text{ W/m}^2 \rightarrow t = 400 \text{ ms}$. Se puede observar el efecto de la operación del algoritmo MPPT, el cual fija el voltaje V_{PV} en el punto de máxima potencia. Para el valor de irradiancia más alto (920 W/m^2) en el periodo de 0 a 150 ms el voltaje V_{PV} es 21.2 V que resulta ser menor al obtenido en el periodo de menor irradiancia (400 W/m^2) de 400 a 600 ms cuyo valor de voltaje en terminales del sistema fotovoltaico es 25.5 V, como se puede observar en la Figura 9 (a). Sin embargo, la corriente entregada por el panel responde en forma opuesta al voltaje, en la Figura 9 (b) se observa que, para el periodo de mayor irradiancia, la corriente está en 5.6 A; y para el de menor irradiancia, la corriente se encuentra en 3.3 A. Lo que da como resultado que la potencia entregada por el sistema fotovoltaico es mayor para valores mas altos de irradiancia, como se puede observar en la Figura 9 (c) la cual muestra 118.7 W y 84.1 W para los periodos de mayor y menor irradiancia respectivamente.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de convertidores bajo estructuras de interconexión en no-cascada para aplicaciones fotovoltaicas resulta de gran interés, debido a que evita el doble procesamiento de la potencia entregada por el módulo fotovoltaico, gracias a su configuración de dos convertidores básicos en conexión no-cascada. Esto resulta conveniente, ya que el voltaje en terminales del módulo fotovoltaico es considerablemente menor comparado con el voltaje al que operan las micro-redes de DC. Estos sistemas de generación también pueden ser integrados a la red eléctrica pública a través de un inversor.

El uso del algoritmo MPPT incrementa la eficiencia del sistema, ya que la operación de este permite la extracción

de la máxima potencia del módulo fotovoltaico. Para hacer uso de estos algoritmos de seguimiento, como el utilizado en este proyecto (P&O), no requiere del conocimiento del modelo matemático del convertidor, lo que facilita su desarrollo e implementación. Por otro lado, estos algoritmos pueden resultar lentos en su operación, si el valor de la perturbación del ciclo de trabajo es pequeño, o presentar oscilaciones si la perturbación es grande. Sin embargo, son capaces de llevar a cabo la tarea de posicionar la operación del panel en su punto de máxima potencia.

El uso de micro-redes de DC, es sin duda también de interés, ya que son compatibles con las cargas eléctricas utilizadas en aplicaciones residenciales y comerciales, que actualmente hacen uso de un rectificador para su operación.

Una oportunidad que se presenta es, desarrollar un esquema de control que lleve a cabo la tarea de MPPT, reduciendo así el tiempo de respuesta y las oscilaciones derivadas del uso del algoritmo.

VI. REFERENCIAS

- [1] S. Anand and B. G. Fernandes, "Optimal voltage level for DC microgrids," in *Proc. 36th Annu. IEEE Ind. Electron. Soc. Conf.*, Nov. 2010, pp. 3034–3039.
- [2] S. Anand and B. G. Fernandes, "Steady state performance analysis for load sharing in DC distributed generation system," in *Proc. 10th Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, May 2011, pp. 1–4.
- [3] D. Salomonsson, L. Soder, and A. Sannino, "An adaptive control system for a DC microgrid for data centers," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no. 6, pp. 1910–1917, Nov./Dec. 2008.
- [4] H. Kakigano, Y. Miura, and T. Ise, "Low-voltage bipolar-type DC microgrid for super high quality distribution," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 12, pp. 3066–3075, Dec. 2010.
- [5] T.-F. Wu, K.-H. Sun, C.-L. Kuo, and C.-H. Chang, "Predictive current controlled 5-kW singlephase bidirectional inverter with wide inductance variation for DC-microgrid applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 12, pp. 3076–3084, Dec. 2010.
- [6] A. Kwasinski, "Quantitative evaluation of DC microgrids availability: Effects of system architecture and converter topology design choices," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 3, pp. 835–851, Mar. 2011.
- [7] Y.-C. Chang and C.-M. Liaw, "Establishment of a switched-reluctance generator-based commonDCmicrogrid system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 9, pp. 2512–2527, Sep. 2011.
- [8] T. ESRAM, P.L. Chaoman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2007, Volume: 22, Issue: 2. Digital Object Identifier: 10.1109/TEC.2006.874230, pp. 439-449.
- [9] Tse, C.K.; Chow, M.H.L., "Theoretical study of switching power converters with power factor correction and output regulation," *Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, IEEE Transactions on, vol.47, no.7, pp.1047,1055, Jul 2000.
- [10] R. Loera-Palomo; JA. Morales-Saldaña, E. Palacios Hernandez., "Quadratic step-down dc-dc converters based on reduced redundant power processing approach," *IET Power Electronics*, Volume 6, Issue 1, January 2013, p. 136 – 145.
- [11] R. Loera-Palomo; JA. Morales-Saldaña., "Family of quadratic step-up dc-dc converters based on non-cascading structures," *IET Power Electronics*, Volume 8, Issue 5, May 2015, p. 793– 801.
- [12] T. F. Wu and Y. K. Chen. A systematic and unied approach to modeling PWM DC/DC converters based on the graft scheme". *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 45(1):88{98, Feb 1998.

- [13] R.W. Erickson and D. Maksimovic. *Fundamentals of power electronics*. 2nd Ed. Kluwer Academic Publishers.

VII. BIOGRAFÍA



De la Rosa-Romo, David. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica en 2009 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en 2011 por el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente cursa el octavo semestre del programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en Instituto Tecnológico de la Laguna en la línea de investigación Potencia y Energías Renovables. Su tema de investigación es el desarrollo de convertidores DC-DC para aplicaciones fotovoltaicas.



Sellschopp-Sánchez, Francisco Sergio. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.

Loera-Palomo, Rodrigo. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en 2013 en la misma institución.

Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna a través del programa Cátedras-CONACYT. Sus áreas de investigación corresponden a los sistemas electrónicos de potencia, reguladores conmutados de alta frecuencia y teoría de control aplicada a sistemas electrónicos de potencia.



Rivero-Corona, Michel. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna.

Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.

Diseño de fresadora CNC, multifuncional.

M. Zavala-Silva¹, A. Caldera-Vidaña², A. Prieto-Sandoval³, R.A. Varela-Frayre⁴

Resumen— Este trabajo describe el avance en la elaboración de una máquina herramienta que integra tecnología de CAD/CAM. Dicha máquina tiene las características de una máquina CNC y puede emplearse para la fabricación de diversos objetos. La máquina ha sido diseñada con los atributos elementales para evitar al operador accidentes, disminuir tiempos de proceso y aumentar la calidad de los productos que con ella se elaboran. Su realización comprende diferentes etapas de las cuales se reportan las correspondientes a su construcción física, estando en proceso las pruebas de validación y de puesta en servicio. El resumen describe de forma concisa el contenido del proyecto. Las ideas fundamentales de relevancia, así como los resultados y las conclusiones generales del trabajo reportado.

Palabras claves— CNC, Tarjeta de control, Mach3, Puerto paralelo.

Abstract— This work describes the progress in the development of a machine tool that integrates CAD / CAM technology. This machine has the characteristics of a CNC machine and can be used for the manufacture of various objects. The machine has been designed with the elementary attributes to avoid the operator accidents, reduce process times and increase the quality of the products that are made with it. Its realization includes different stages of which those corresponding to its physical construction are reported, and the validation and commissioning tests are in process. The summary describes the content of the project concisely. The fundamental ideas of relevance, as well as the results and the general conclusions of the reported work.

Keywords— CNC, Control card, Mach3, Parallel port.

I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en el campo de la microelectrónica están haciendo posible el desarrollo de CNC de una rapidez y potencia sin precedentes. Un número creciente de funciones integradas simplifica incluso los procesos de mecanizado más complejos. Al mismo tiempo, estos productos ofrecen una mayor facilidad de manejo, no solo en lo que respecta a la programación, sino también

durante otras operaciones, como la instalación y el mantenimiento [1].

Las máquinas de CNC tienen dos o más movimientos llamados eje, cada eje o grado de movimiento puede ser lineal o rotacional, este concepto está ligado a la complejidad de la máquina, esto es, entre más ejes tiene una máquina más compleja es o tiene mayor capacidad de maquinarse piezas complejas.

Los ejes de las máquinas están encargados de los movimientos que tiene que hacer la herramienta para el proceso de manufactura que requiere. En el ejemplo del barrenado, se necesitan tres ejes, dos para el posicionamiento de la pieza (o la herramienta según se vea) y el tercero para el barrenado o desbaste, los ejes son llamados con letras, comúnmente los ejes lineales son X, Y, Z, y los ejes rotacionales son A, B, C.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Software

Existe una gran cantidad de programas como lo son Mach3, KCAM4, EMC2 TurboCNC, LinuxCNC (antes EMC), Nanjing Swansoft, FreeMill, con los cuales se logra editar texto, simular; y además cuentan con consola de control CNC. El editor de textos manda cada una de las líneas por el puerto Paralelo DB25 a la tarjeta de control TB65603V2. El simulador muestra el recorrido en el plano XY, y por medio de la consola se logra ejecutar los desplazamientos de manera manual, Este programa reconoce archivos con coordenadas absolutas o relativas (G90/G81), en milímetros o pulgadas (G21/G20) [2].

¹ Misael Zavala Silva (mzavala@utt.edu.mx)
Universidad Tecnológica de Torreón, Cuerpo Académico en
Materiales, Carretera Torreón-Matamoros KM 10 Ejido el Águila, C.P.
27400, Municipio de Torreón, Coahuila, México.

² Alejandro Caldera Vidaña (calderavida@gmail.com)
Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ing.
Electromecánica, Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5,
Plácido Domingo, C.P. 35150, Municipio de Lerdo, Durango, México.

Características de la tarjeta de control.

- Controladora para 4 Motores Bipolares de 4, 6 u 8 hilos los cuales pueden operar simultáneamente
- Fuente de alimentación de Corriente Directa, recomendable a 24 Volts
- Circuitos integrados Toshiba TB6560AHQ 3.5 Amperes por eje.
- Micropasos 1, 1/2, 1/4, 1/16 para mayor precisión
- Corriente ajustable por eje – 25%, 50%, 75%, 100%
- Protección contra sobre-Carga, Sobre-corriente y temperatura
- Interfase paralela opto-aislada
- Relevador mecánico interno para controlar una salida de hasta 10 Amperes
- 4 Canales de entrada, limites o Estop
- Expansión a cuarto eje ya que da acceso a las señales para colocar un Driver Externo.

El control es ejecutado por una tarjeta TB65603V2 con pines digitales de entrada o salida según la configuración del usuario, lo cual permite una mejor manipulación de los motores, además de que sus pines entrada/salida son suficientes para poder controlar nuestra máquina herramienta.

TABLA I
PINES DEL PUERTO DB25 PARALEO.

DB 25 Pines del puerto DB25		Notas
1	En	Habilitar todos los ejes
2	Step x	X señal de paso
3	Dir x	X señal de dirección
4	Step Y	Y señal de paso
5	Dir Y	Y señal de dirección
6	Step Z	Z señal de paso
7	Dir Z	Z señal de dirección
8	Step a	A señal de paso
9	Dir A	A señal de dirección
10	Limit-1	Entrada limite 1
11	Limit-2	Entrada limite 2
12	Limit-3	Entrada limite 3
13	Limit-4	Entrada limite 4
14	Relay control	Relevador mecánico
15	blank	No se usa
16	StepB-	B (5to eje) señal de paso
17	DirB-	B (5to eje) señal de dirección
18-25	GND	GND

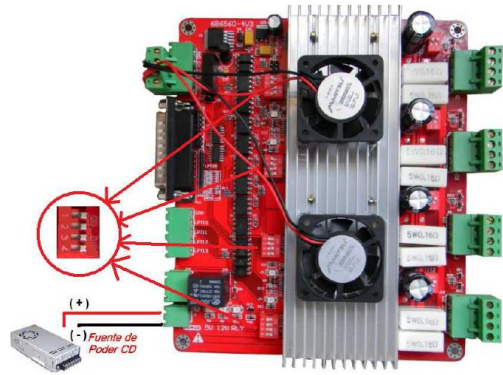


Figura 1. Tarjeta TB65603V2

Selección de Motores

Para la fabricación del prototipo se utilizaron motores a pasos bipolares, ya que es fácil el control de posición y velocidad, además de que poseen una característica adicional sobre los motores de corriente continua o directa “el torque de detención”. El motor suministra el torque necesario para crear el movimiento requerido de la carga a través de un actuador. Dentro de la selección, se consideró la cantidad total de pulsos para llegar a la posición, velocidad de indexación, y el torque requerido, además de la relación de inercia del motor a la carga.

El número total de pulsos para hacer el movimiento es expresado por la siguiente ecuación (1)

$$Pt = (Dt \div (D \div i)) \times \theta p \tag{1}$$

$Pt =$ Pulsos totales

$Dt =$ Distancia total del movimiento

$D =$ Distancia recorrida con carga por la rotación del eje

$i =$ razón de la reducción $\left[\frac{\text{revoluciones del motor}}{\text{revoluciones del eje reductor}} \right]$

$\theta p =$ Resolución del paso $= \left[\frac{\text{paso}}{\text{revoluciones del motor}} \right]$

Velocidad del motor por Frecuencia de pulsos

Se obtuvo el correcto manejo de velocidad de los motores, manipulando la frecuencia de salidas PWM, por medio del perfil partir-parar.

Perfil partir-parar

El tipo más básico de perfil de movimiento es un perfil “partir-parar” donde no existe un periodo de aceleración o uno de desaceleración.

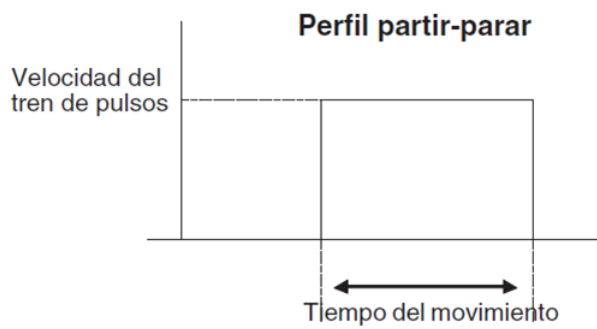


Figura 2. Perfil partir – parar.

Este tipo de perfil de movimiento se usa solamente para aplicaciones de baja velocidad porque la carga “se mueve de tirón” a partir de una velocidad a otra. La ecuación (2) para encontrar la velocidad del tren de pulsos para el movimiento “partir –parar” es la siguiente:

$$Fss = Ptotal \div Ttotal \tag{2}$$

Fss = Velocidad del tren de pulsos
Ptotal = Pulsos totales
Ttotal = Tiempo del movimieto

Torque resistivo de la carga

El torque que requiere ser suministrado por el sistema de accionamiento al actuador, debe ser mayor que el torque resistivo a velocidad constante y se recomienda aplicar al motor un factor de seguridad entre 20 a 100%, para evitar que el motor deje de rotar o se pare por cambios de carga. Se utilizó la siguiente ecuación (3):

$$Tm = Ta + Tr \tag{3}$$

Tm = Torque resistivo de la carga
Ta = el torque que requiere la carga para acelerar y desacelerar la inercia del sistema
Tr = El torque de carga a velocidad constante para hacer funcionar el mecanismo.

Para la obtención del par, para acelerar y desacelerar una carga con inercia con un cambio línea de velocidad se utiliza la siguiente ecuación (4):

$$T_{acel} = J_{total} [Kg - m^2] \times \left(\frac{\Delta velocidad [RPM]}{\Delta tiempo [s]} \right) \times \left(\frac{2\pi}{60} \right) \tag{4}$$

Tacel = par para acelerar y desacelerar una carga con inercia [N - m]

J_{Total} = Inercia del motor más la inercia de la carga (“reflejada al eje del motor”).

(El factor $2\pi \div 60$ es usado para convertir el “cambio de velocidad” expresada en RPM en una velocidad angular (radianes/segundo) [3]

Diseño de estructura

Para la selección del material para la construcción de la fresadora tomamos en cuenta reducir lo más posible el costo de fabricación. Esto lo conseguimos con un sistema innovador en los movimientos de cada eje. A diferencia de los cnc convencionales que el movimiento lo trasmite una cremallera, nosotros implementamos rodamientos los cuales se deslizan sobre el perfil de 2 pulgadas.



Figura 3. Estructura para CNC.

Esto nos da ciertas ventajas y desventajas sobre las cremalleras.

TABLA II
PINES DEL PUERTO DB25 PARALEO.

Ventajas	Desventajas
El paso es más rápido.	El material a perforar no debe de ser muy duro.
Los motores se esfuerzan menos.	Puede presentarse deslizamiento en cortes muy profundos
El material se puede conseguir con facilidad.	
El precio es más accesible	

Para determinar la masa de todos los componentes en cada eje, nos apoyamos en la herramienta Propiedades Físicas de SolidWorks. Una vez obtenido el valor de la masa en los distintos ejes, pasamos a realizar los cálculos correspondientes para determinar el comportamiento de los mecanismos, así como del torque requerido en nuestros motores [3].

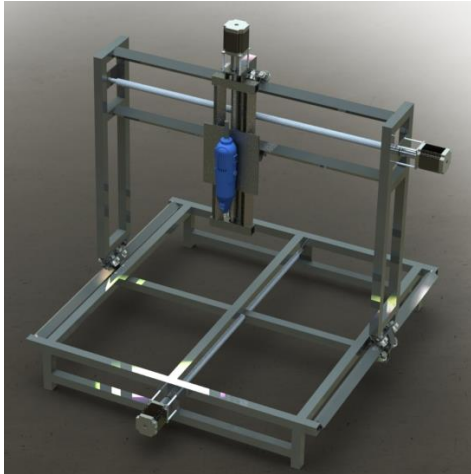


Figura 4 vista Isométrica del diseño de la fresadora CNC.

III. RESULTADOS

Se logró realizar trabajos de maquinado configurando los códigos en Artcam pasando el programa en archivo TXT, para posteriormente procesarlos en Mach3 (programa de control de la tarjeta roja TB65603V2). La resolución y calidad del maquinado son bastante aceptables.



Figura 5. Grabado CNC.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Conforme avanza la tecnología electrónica en el campo de sistemas embebidos como micro controladores, la

fabricación en máquinas de CNC es más crucial, porque cada vez tienen mayor demanda lo cual exige mayor exactitud y precisión, por lo tanto hace necesario la utilización de diseños asistidos por computadora así como máquinas avanzadas; es por ello que nuestro trabajo se centra tanto en definir como especificar un método más rápido que ahorre tiempo, esfuerzo, capital invertido, que contribuya al cuidado de la naturaleza y el medio ambiente [4].

Se diseñó y construyó una fresa de control numérico con los siguientes elementos:

- Un programa editor de texto, simulador y consola de control CNC.
- Tarjeta TB65603V2 con 18-25 pines digitales de entrada o salida
- Fuente de 24 v cd.
- Tres motores paso a paso Nema 24
- Sistema mecánico de sinfín y rodamientos

Esta propuesta abre las puertas a los micros, pequeñas y medianas empresas, para hacerse de manera accesible de una máquina y herramienta, que cuenta con las características de control numérico, que permite trabajar de una manera más rápida y segura, reduciendo tiempos y accidentes.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Tecnológica de Torreon por el apoyo recibido.

VI. REFERENCIAS

- [1] Petersuller, J. J. (2013) "Introducción al control numérico computarizado CNC," Disponible en: [https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)).
- [2] Cruz Teruel, Francisco (2015). *Control numérico y programación, Sistema de fabricación de máquinas*, vol. I. Mexico.
- [3] Sergio Gomez Gonzalez, (2018), *El gran libro de Solid Works*, Mexico, Alfa Omega Editors, p210.
- [4] C. P. (2016) "Diseño y construcción de una máquina de CNC de 3 ejes para el ruteo de pistas y taladrado de circuitos impresos." Ph.D. dissertation, Facultad de mecánica, escuela de ingeniería industrial, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador.

VII. BIOGRAFÍA

MC. Zavala Silva Misael. Nació en la ciudad de Torreón, Coah. México el 19 de Enero de 1970. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería en Mecánica Industrial en la ciudad de Torreón Coahuila, México, Maestría en Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C. en la ciudad de Torreón Coahuila, México en el año de 2011.



Actualmente se desempeña como profesor investigador de la Universidad Tecnológica de

Torreón, en la ciudad de Torreón del estado de Coahuila, México.

Ing. Caldera Vidaña Alejandro. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de agosto de 1986. Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C. en el año de 2010. Actualmente está en su etapa final de estudios en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C., ubicado en la ciudad de Torreón Coah. México.



Actualmente para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de

Docente, en la División de Electromecánica, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango, México.

TSU. Prieto Sandoval Andrés. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México. Egresado de la Universidad Tecnológica de Torreón para obtener un título de Técnico Superior Universitario en Mecatrónica en el área de Automatización, actualmente se encuentra cursando el octavo cuatrimestre de la ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de Torreón.



TSU. Varela Frayre Raúl Alejandro. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México. Egresado de la Universidad Tecnológica de Torreón para obtener un título de Técnico Superior Universitario en Mecatrónica en el área de Sistemas de manufactura, actualmente se encuentra cursando el octavo cuatrimestre de la ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de Torreón.



Aplicación de las herramientas de calidad para contabilizar el scrap en una empresa metal-mecánica

K.L Hernandez-Montoya¹, C.J. Pérez-Ascencio¹

Resumen---El presente es una investigación cuasi-experimental, el Scrap dentro de una empresa Metal-Mecánica cuya problemática es que ésta no cuenta con el manejo correcto del producto no conforme, no lleva registros diarios sobre las áreas involucradas ni tampoco se sabe exactamente cuántos kilogramos o toneladas de material son desperdiciados en un periodo de tiempo que ellos mismos pudieran establecer, de igual forma se desconocen la o las causas de que el producto fundido pase a ser parte del producto no conforme.

El objetivo de esta investigación es, conocer la cantidad de scrap mensual dentro de cada área a la que se aplique, mediante un registro digital en el que se contabilice la cantidad de piezas, toneladas y otros datos importantes sobre este producto no conforme, esto con la finalidad de conocer cuánto le cuesta a la empresa estos errores de producción. De la misma forma que los dueños de proceso tengan conocimiento de la cantidad exacta de scrap que se detectó en cada una de sus áreas.

La metodología que se aplicó fue, las herramientas de calidad, diseño de Check list, Pareto y diagramas de Ishikawa, así como el análisis para medir la pérdida real en la utilidad bruta, teniendo como finalidad conocer los datos para posteriormente analizarlos y determinar la causa raíz del problema con mayor número de repeticiones que se llegara a presentar.

Teniendo como hipótesis que la aplicación de las siete herramientas determinarían la causa raíz del scrap.

Como resultados se presentan, formatos de control de scrap, análisis del scrap, causas raíz y aplicación de algunas de las herramientas de la manufactura esbelta.

Palabras claves—Diagrama de Pareto, Kaizen, Manufactura Esbelta, Scrap.

Abstract— The present is a quasi-experimental research, the Scrap within a Metal-Mechanic company whose problem is that it does not have the correct handling of the non-conforming product, does not keep daily records on the areas involved, nor does it know exactly how many kilograms or tons of material are wasted in a period of time that they themselves could establish, likewise the cause or causes of the molten product becoming part of the nonconforming product is unknown.

The objective of this research is to know the amount of scrap monthly within each area to which it is applied, through a digital record in which the quantity of pieces, tons and other

important data about this nonconforming product is counted, this with the purpose of knowing how much it costs the company these production errors. In the same way that process owners are aware of the exact amount of scrap that was detected in each of their areas.

The methodology that was applied was the quality tools, check list design, Pareto and Ishikawa diagrams, as well as the analysis to measure the real loss in gross profit, with the purpose of knowing the data for later analysis and determining the cause root of the problem with the greatest number of repetitions that will occur. Having as hypothesis that the application of the seven tools would determine the root cause of the scrap. As results are presented, scrap control formats, scrap analysis, root causes and application of some of the lean manufacturing tools.

Keywords— Pareto chart, Kaizen, Lean Manufacturing, Scrap.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad se entiende como el compromiso de la empresa en hacer las cosas “bien a la primera” y en todas sus áreas para alcanzar la plena satisfacción de los clientes, tanto externos como internos. El esfuerzo continuo mediante el despliegue de las técnicas de calidad es la única forma de asegurar que todas las unidades producidas cumplan las especificaciones dadas. (Juan Carlos Hernández Matías, 2013)[1] Una realidad que viven todas las industrias actualmente es el control del producto no conforme, que como la norma ISO 9001 explica, es el incumplimiento a requisitos establecidos para el producto. El tema se profundizará en la industria metal-mecánica en la cual pareciera no importar la cantidad de scrap generado, puesto que las piezas o producto fabricado varían en tamaño y peso, sin embargo se debe considerar el impacto monetario que esto representa, no solo para las empresas fundidoras sino para todas en general.

La manufactura de productos de metal ha tenido constante crecimiento gracias al impulso de sectores como el automotor y el aeronáutico. Sin embargo, para su completo desarrollo necesita mayor tecnología, capacitación y educación orientada a la industria. ¿Será esto un factor que determine la cantidad de errores producidos en la empresa?

¹ Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias
Calzada del Tecnológico #53 Co. El Tecnológico C.P. 27800, México

e-mail contacto: Claudia.perez@tecsanpedro.edu.mx

Lo cierto es que los defectos conllevan problemas a largo plazo, la búsqueda de las causas y sobre todo de las soluciones es lo que se será presentado en este artículo.

La mayoría de los productos metálicos se originan en los colados. Siguiendo los procesos de afinado de los minerales, los metales se moldean inicialmente como lingotes u otras formas, que constituyen la materia prima principal para todas las operaciones de refundir y refinar. La fundición, es esencialmente un proceso de refundición, llevando a cabo en un horno diseñado especialmente para la cantidad y tipo de metal que se va a fundir. (Padilla, 1992) [2]

La aplicación de técnicas estadísticas al control de calidad ha permitido un elevado grado de profesionalización de esta función. Los métodos de resolución de problemas juegan un rol muy importante en la mejora de la calidad estadística. Desde los años 60s, los trabajadores, operarios e ingenieros de la industria japonesa han utilizado simples métodos que se conocen como las siete herramientas de la calidad. Estas herramientas son utilizadas para analizar la realidad y presentar los resultados de la mayoría de sus problemas. Hoy en día, son conocidas en todo el planeta, enseñadas en universidades como herramientas para la total organización de mejora de calidad y son frecuentemente incorporadas en sistemas de gran escala para procesos de control estadístico. (Mauch)[3]

El uso de herramientas de calidad ofrece respuesta a las causas principales que originan que la pieza o producto fabricado no cumpla con los lineamientos solicitados por el cliente ya sea interno o externo. En México, las industrias metal-mecánica, automotriz y aeroespacial recibirán mayor inversión, debido a que son industrias dedicadas a fabricación, trabajos de lámina, reparación, fundición, ensamble y transformación de productos de metal. (Internacional Metalmecánica, 2013)[4] Siendo el auge mayor, también crece la oportunidad de que el producto este fuera de especificaciones.

II. PARTE TÉCNICA

A. Definiciones de scrap, producto no conforme

Es una palabra inglesa que se traduce como chatarra o residuo. En el contexto industrial, scrap refiere a todos los desechos y/o residuos derivados del proceso industrial. (CeroScrap, 2014)[5]

Un producto no conforme es todo aquel que no cumple con alguno de los requisitos determinados por el sistema de gestión de calidad, como, por ejemplo, un material comprado que ha llegado defectuoso, un material no identificado cuando se requiere que lo esté. (Sistema de Gestión de Calidad según ISO 9000, 2013)[6]

Al surgir las deformaciones residuales por impacto o presión, el metal altera su forma en la dirección deseada sin destrucción, simultáneamente sucede la alteración de la estructura del metal, de sus propiedades mecánicas y

físicas. Tal variación irreversible de la forma se denomina deformación. (Kucher, 1989)[7]

B. Partes del formato de control de scrap

Establecer un formato de control de scrap en cada una de las áreas, con este check list se sabrá exactamente qué es lo que se está desperdiciando y en qué cantidad.

Las áreas o departamentos involucrados son: Fundición, Moldeo, Acabados, Maquinados, soldadura y pailería.

Fecha, descripción de pieza, material, cliente, cantidad de piezas, peso unitario, peso total, causa, instrucción operativa) y observaciones forman el formato de control o registro diario de scrap.

La tabla que se muestra a continuación contiene registros de scrap en el mes de junio.

TABLA I FORMATO DE CONTROL DE SCRAP

CONTROL DE SCRAP										
DEPARTAMENTO: MAQUINADOS										
FECHA	DESCRIPCIÓN DE PIEZA	MATERIAL	CLIENTE	CANTIDAD DE PIEZAS	PESO UNITARIO (KG)	PESO TOTAL (KG)	CAUSA	INSTRUCCIÓN OPERATIVA	OBSERVACIONES	TOTAL DE 2025
01/06/2018	TOBERAS MAQUINADAS SIFON BEL	A216 GDD WCB	SULZER	3	180	540	CARGADA AL PROVEEDOR	810	SUB CONTRATADO, PROVEEDOR MAQUINADO LAGUNA	
jun-18	CHUMASERA RUEDA MK-1	A27 GR 70-40	AHMSA	1	145	145	DIAMETRO INTERIOR OVALADO	518 REV 2		
jun-18	RUEDA PLANA MK-4	A 48 CL 30	AHMSA	9	210	1890	MATERIAL EQUIVOCADO, EN ANALISIS QUIMICO, POR LO QUE NO SE PUEDE TRATAR EN EL TRATAMIENTO TERMICO	392 REV 0		
jun-18	IMPULSOR (SUCTION IMPERELLER)	A 216 WCB	SULZER	4	290	1160	ESPESOR EN EL LABIO	848 REV 0		
jun-18	IMPULSOR (SUCTION IMPERELLER)	A 216 WCB	SULZER	1	290	290	FALTA DE MATERIAL	848 REV 0		

C. Registro diario de scrap

Ya establecido el formato de control de scrap, se realizará una inspección diaria en todas las áreas involucradas, de esta manera se tendrá la cifra real de producto no conforme por día, y posteriormente mensual.

Cabe mencionar que el registro diario fue por un periodo de cinco meses.

La tabla que se muestra a continuación hace alusión a un solo mes.

TABLA II TOTAL DE SCRAP MENSUAL

CAUSA	FRECUENCIA
MATERIAL FRÍO	5
DIMENSIONAL	4
FALTA DE MATERIAL	7
GRIETA	1
RECHUPE	5
SOBRANTE	1
MAT. EQUIVOCADO	1
ESPESOR EN EL LABIO	1
TRONADA	1
TRASLAPADOS	1
DIAMETRO INTERIOR OVALADO	1

D. Instrucción operativa

El propósito de las instrucciones técnicas es suministrar una descripción detallada de cómo se debe realizar una

operación o actividad específica. Estos documentos pueden ser de varios tipos, modelos, dibujos, cuadros, diagramas de flujo, o muestras de manufactura.

Las instrucciones técnicas, también llamadas instrucciones de trabajo, son documentos donde se recogen con detalle “cómo” se realiza cierta operación, a diferencia de los procedimientos documentados, en los que se indica “qué” es lo que se hace, quiénes son los responsables, etc. Ese “cómo” se hace, se describe a través de explicaciones detalladas de cada uno de los pasos a seguir para ejecutar cierta actividad. [6]

Dentro de esta instrucción encontramos datos relevantes, los cuales sirven para concentrar la información en el formato que se estableció y de esta manera tener trazabilidad de las piezas fabricadas que no cumplieron con los requerimientos de los clientes.

Figura 1 Instrucción Operativa de una pieza

Seguido de la Instrucción operativa se encuentra la hoja de proceso, la cual también proporciona información para ser agregada al formato, la figura 2 muestra dicha hoja en ella se puede observar el peso unitario de la pieza a fabricar.

Figura 2 Hoja de Proceso de una pieza

E. Pérdida monetaria a causa del scrap

Después de recolectar los datos diariamente y agregarlos en el formato de control de scrap, se realiza un concentrado con los costos de los materiales, con esto se logra saber a cuánto asciende la pérdida monetaria mensual a causa de

que las piezas fabricadas no cumplan con los requerimientos de los clientes.

Según Humberto Gutiérrez Pulido, los costos de calidad son los costos totales asociados al sistema de gestión de calidad y pueden utilizarse como medida de desempeño del sistema de calidad. Estos costos se dividen en costos originados por la empresa para asegurar que los productos tengan calidad y costos por no tener calidad que resultan de las deficiencias en productos y procesos. A estos últimos se les conoce como costos de no calidad o de mala calidad. (Pulido, 2010) [8]

TABLA III PÉRDIDA MONETARIA A CAUSA DEL SCRAP

JUNIO							
PRECIO	MATERIAL	ACABADOS	MAQUINADOS	FUNDICION	PAILERIA	TOTAL MENSUAL KG	COSTO TOTAL
57	A 297 GDO HH	67.5		72	216	355.5	\$ 20,263.50
11	GG-20	64				64	\$ 704.00
11	GG15-1641	60				60	\$ 660.00
13	A 536 GDO 65-45-12	84				84	\$ 1,092.00
14	GGG 40	12				12	\$ 168.00
14	A 536 GR 100-70-03	165				165	\$ 2,310.00
14	NODULAR 80-60-03	2300				2300	\$ 32,200.00
9	A 216 WCB	620	1990			2610	\$ 23,490.00
9	A27 GR 70-40		145			145	\$ 1,305.00
9	A 48 CL 30		1890			1890	\$ 17,010.00
11	A 48 CL 40			600		600	\$ 6,600.00
							\$ 105,802.50

JULIO								
PRECIO	MATERIAL	MAQUINADOS	FUNDICION	SIMULACION	PAILERIA	MOLDEO	TOTAL MENSUAL KG	COSTO TOTAL
9	A 216 WCB	240	459	290		290	1279	\$ 11,511.00
9	A 27 GR 70-40		90			200	290	\$ 2,610.00
57	A 297 GR HH		20		40.5	20	80.5	\$ 4,588.50
								GG60 (HIERRO)
14	NODULAR 60-40					90	90	\$ 1,260.00
13	A 536 GDO 65-45-12					42	42	\$ 546.00
84	A 297 GR HK					120	120	\$ 10,080.00
13	W-170					300	300	\$ 3,900.00
							\$ 34,495.50	

AGOSTO							
PRECIO	MATERIAL	ACABADOS	FUNDICION	MOLDEO	PAILERIA	TOTAL MENSUAL KG	COSTO TOTAL
57	A 297 GR HH	92	224	5498		5814	\$ 331,398.00
27	A 743 GDO CAGNM			1400		1400	\$ 37,800.00
9	A 48 CL 30			65		65	\$ 585.00
							\$ 369,783.00

SEPTIEMBRE							
PRECIO	MATERIAL	ACABADOS	FUNDICION	MOLDEO	PAILERIA	TOTAL MENSUAL KG	COSTO TOTAL
57	A 297 GR HH	772	506	1104	452	2834	\$ 161,538.00
13	SOLVAY R80	3000				3000	\$ 39,000.00
27	A 743 GDO CAGNM	700		1400		2100	\$ 56,700.00
13	W-170			140		140	\$ 1,820.00
11	GG20			400		400	\$ 4,400.00
9	A 195 SC 1045			200		200	\$ 1,800.00
							\$ 265,258.00

OCTUBRE							
PRECIO	MATERIAL	ACABADOS	MOLDEO	PAILERIA	TOTAL MENSUAL KG	COSTO TOTAL	
57	A 297 GDO HH	502	716		1218	\$ 69,426.00	
11	A 48 CLASE 40	700			700	\$ 7,700.00	
13	A 536 GDO 65-45-12		3700		3700	\$ 48,100.00	
14	A 148 GR 105-85	390			390	\$ 5,460.00	
							\$ 130,686.00

F. Interpretación de los datos obtenidos

El registro diario de scrap arrojará datos que necesitan ser analizados y presentados de manera concreta, una forma es la gráfica de Pareto (80/20) con los defectos más repetitivos durante el periodo de tiempo que se determinó.

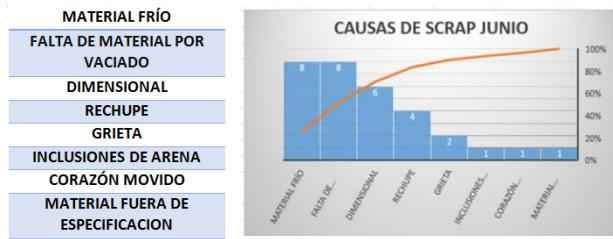


Figura 3 Diagrama de Pareto Causas de scrap

G. Causa con más frecuencia

La causa de que la pieza fabricada pasara a formar parte del producto no conforme con mayor número de frecuencia es, Dimensional, entendiendo que los productos fabricados no cumplían con las medidas correctas exigidas por parte de los clientes, seguido del molde reventado, lo cual sucedía por la falta de contra peso en los mismos moldes, y en tercer lugar están los rechupes, los cuales son cavidades indeseadas resultado de la contracción en la solidificación. La tabla mostrada a continuación presenta todas las causas y el número total de frecuencia o repeticiones que se presentaron en los cinco meses que se determinó el estudio.

TABLA IV TOTAL DE FRECNCIAS MENSUALES

CAUSA	FRECUENCIA
Dimensional	59
Molde reventado	24
Rechupe	21
Material frio	14
Porosidades	9
Exceso de corte	4
Material fuera de especificación	3
Falta de contra peso	2
Grieta	2
Inclusión de arena	2
Exceso de material	1

III. RESULTADOS

Una vez que queda bien definido, delimitado y localizado dónde se presenta un problema importante, es momento de investigar sus causas. Una herramienta de especial utilidad para esta búsqueda es el diagrama de causa-efecto diagrama de Ishikawa: un método gráfico mediante el cual se representa y analiza la relación entre un efecto (problema) y sus posibles causas. (Juan Carlos Hernández Matías, 2013) [1]

Los resultados del análisis de los datos obtenidos a través del formato de control de scrap muestran tres defectos o causas con mayor número de frecuencia. Con el uso de otra de las herramientas de calidad se muestran las causas del defecto detectado a lo largo del periodo de tiempo que se estableció. Entre ellas están la reacción del catalizador con la resina, el tiempo de vaciado a los moldes, así como la perdida de fluidez del material por baja temperatura, todas éstas hacen posible que la pieza o las piezas estén mal dimensionalmente, lo cual fue el principal problema, la principal causa de scrap.

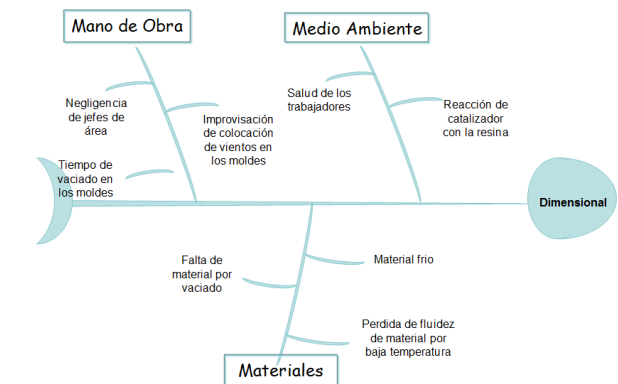


Figura 4 Diagrama de Ishikawa causa Dimensional

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El objetivo de este proyecto fue conocer la cantidad de scrap mensual dentro de cada área a la que se aplique, mediante un registro en el cual se contabilice la cantidad de piezas, toneladas y otros datos importantes sobre este producto no conforme. El nuevo método de registro y recolección de datos sobre el producto no conforme por las áreas es práctico y efectivo, se menciona que es de importancia para el Gerente General conocer las pérdidas que se alcanzan con todos los errores que se tienen, además de saber cuáles piezas están siendo de mayor problema en su realización.

Se presentan metodologías que se pueden implementar para disminuir la cantidad de producto no conforme, ofrecen una manera de reorganización para la empresa y mediante ello cambiar cosas que no estaban funcionando, se recomienda la manufactura esbelta, la cual habla sobre disminuir las mudas, las cuales si son aplicables en esta investigación, como lo son, los desperdicios y los retrabajos. Los métodos antes mencionados también sugieren tener una mejor distribución de las áreas de la organización, en este caso, se cuenta con errores de logística que ya no se deberían de tener, puesto que la empresa ya cuenta con muchos años laborando, otro aspecto importante que se puede ver es el uso de materiales de bajo costo, siendo una empresa que

fabrica piezas importantes para industrias igual de importantes, los productos fabricados no son baratos, por esto se deberían de utilizar materiales que cuenten con mejor calidad, esta sería una manera de asegurar que la pieza fabricada cuenta con una buena materia prima y su probabilidad de que pase a formar parte del scrap sería menor.

El uso de las metodologías sugiere cambios que podrían ser buenos para esta industria. De la misma manera aplicar correctamente las herramientas de calidad brinda un apoyo importantísimo para conocer más a fondo los problemas reales, en este caso se utilizó el diagrama de Pareto para determinar cuál causa era de mayor problema en un periodo de duración de 5 meses, así como también se usó el diagrama de Ishikawa, los diagramas nos ofrecen una vista más profunda sobre las causas que llevan a una pieza a formar un producto no conforme.

V. REFERENCIAS

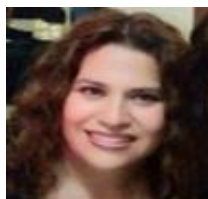
- [1] Juan Carlos Hernández Matías, A. V. (2013). Lean manufacturing, Conceptos, técnicas e implementación . Madrid: EOI. p.58
- [2] Padilla, M. A. (1992). Antología, Metodos y Procesos de Fundición de Metales . Azcapotzalco, México : División de Ciencias y Artes para el Diseño. p.1
- [3] Mauch, P. D. (s.f.). Administración de la Calidad Total . Trillas .
- [4] Internacional Metalmecánica. (Septiembre de 2013). Recuperado el Diciembre de 2018, de Internacional Metalmecánica: <http://www.metalmecanica.com/temas/Actualidad-de-la-industria-metalmecanica-de-Mexico+7093939>
- [5] CeroScrap. (15 de Marzo de 2014). Obtenido de CeroScrap: <http://www.recicladoindustrial.com/2014/03/15/que-significa-scrap-industrial/>
- [6] Sistema de Gestión de Calidad según ISO 9000. (2013). Obtenido de Sistema de Gestión de Calidad según ISO 9000: <http://iso9001calidad.com/instrucciones-tecnicas-205.html>
- [7] Kucher, A. (1989). Tecnología de Metales . Mir Moscú.
- [8] Pulido, H. G. (2010). Calidad Total y Productividad. Mc Graw Hill.

VI. BIOGRAFÍA



Hernandez Montoya Karen Lizbeth. San Pedro, Coahuila, 07 de Octubre de 1995.

Ella actualmente estudia en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila.



Pérez Ascencio Claudia Jazmín. Torreón, Coahuila, 6 de mayo de 1981. Maestría en Educación, en la Universidad Interamericana para el Desarrollo, Gómez Palacio, Durango, México 2018.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila, como Docente en la Carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, en la ciudad de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. La línea de investigación de interés: Administración Estratégica de Negocios

Desarrollo e implementación de prototipo experimental para generación de energía eléctrica mediante una bicicleta estática y un generador eléctrico

V. A. Maciel-Soto¹, N. Alvarado-Tovar², R. Adame-Delgado³, J. Meza-Butrón⁴ Gilberto Galván Aguirre⁵

Resumen—El presente trabajo consiste en el desarrollo de un prototipo experimental inicial para generar energía eléctrica mediante una bicicleta estática la cual tendrá montado un generador eléctrico. Para el desarrollo del prototipo se llevaron a cabo varias actividades como investigación de los beneficios que conlleva usar energías libres de contaminantes, como por ejemplo la energía en forma de movimiento, la cual es energía cinética de los cuerpos en movimiento. Otras actividades estuvieron relacionadas al diseño mecánico y electrónico, esto para que la energía cinética se puede transmitir a un sistema mecánico, y a su vez al generador de imanes permanentes acoplado en este. La energía eléctrica generada pasara por un controlador de carga antes de llegar a las baterías. Las baterías almacenarán la energía para después suministrarla a cargas. Dentro de los experimentos desarrollados se ha usado un variador de velocidad conectado a un motor de CA para simular el pedaleo de una persona. Con este prototipo, se busca tener que el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo tenga formas alternativas de generar energía para reducir, en lo más posible, el consumo de energía eléctrica y fomentar las tecnologías limpias.

Palabras claves—Energías, generador eléctrico, tecnologías limpias.

Abstract—The present work consists of the development of an initial experimental prototype to generate electrical energy by means of a static bicycle which will have mounted an electric generator. For the development of the prototype several activities were carried out as research into the benefits of using free energies of pollutants, such as energy in the form of movement, which is kinetic energy of bodies in motion. Other activities were related to mechanical and electronic design, so that the kinetic energy can be transmitted to a mechanical system, and in turn to the generator of permanent magnets coupled in it. The electrical energy generated will pass through a charge controller before reaching the batteries. The batteries will store the energy and then supply it to loads. Within the developed experiments, a variable speed drive connected to an AC motor has been used to simulate the pedaling of a person. With this prototype it is sought that the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo has alternative ways of generating

electricity, to reduce as much as possible, the consumption of electric power and promote clean technologies.

Keywords— Energies, electric generator, clean technologies.

I. INTRODUCCIÓN

La principal fuente de obtención de energía eléctrica a nivel nacional en México proviene de los hidrocarburos que para el año 2012 se importaron alrededor de 28'369,000 toneladas. El aumento de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) es proporcional al porcentaje de azufre del combustible y a la cantidad de combustible usado para la generación de energía. El combustible usado en el territorio mexicano es en parte producido por las refinerías mexicanas (PEMEX) y otra parte es importada, tratando de abastecer la demanda. El porcentaje de azufre de la mezcla mexicana va del 3.3 – 3.9 % y para la mezcla importada ronda por 1.7 %. La contaminación ambiental es abundante dentro del país gracias a que la principal manera de obtención de energía es a partir de la combustión de combustibles fósiles. De acuerdo a datos reportados por el Sistema Meteorológico Nacional, la incrementación de temperatura se ha dado de manera clara anualmente, comparando con el año de 1961 hasta 2012[1].

En México se han desarrollado algunos trabajos relacionados a la generación de energía eléctrica mediante el pedaleo de una bicicleta estático o no estático. Uno de estos trabajos emplea una bicicleta no estática para generar energía eléctrica que será almacenada en una batería que está montada en esta. Una vez cargada la batería, esta se desmonta para poder usar su energía almacenada en la alimentación de otros dispositivos [2]. En otro trabajo se muestra el desarrollo el prototipo inicial para la generación de energía eléctrica mediante una bicicleta estática instalada en un gimnasio [3].

En otras partes del mundo se han desarrollado prototipos en

^{1,2,3,4,5}Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Dpto. de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Av Tecnológico S/N Col Periférico, Cd. Lerdo, Dgo. CP 25150

¹ V. A. Maciel-Soto (c14231137@gmail.com).

² N. Alvarado Tovar (nalvarado@itslerdo.edu.mx)

³ R. Adame-Delgado (radame@itslerdo.edu.mx)

los cuáles está involucrada una bicicleta estática o elíptica para generar electricidad [4] [5].

En la actualidad lo que se busca es disminuir el consumo de energía del INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR DE LERDO con la generación de energías eléctrica a través de energía cinética; ya que el consumo ha estado aumentando por el ingreso de una gran cantidad de alumnos, y aunque en el instituto se cuentan con programas para reducir el consumo de energía y generar una cultura en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica para contribuir con el desarrollo sustentable, esto no es suficiente. Por lo que se ha optado por desarrollar prototipos que sean capaces de generar energías eléctricas mediante energía renovales como lo que sucede a través del movimiento, ya que serán sustentables a largo plazo mediante generadores y paneles solares.

II. DESCRIPCION TECNICA DE LOS ELEMENTOS

A. *Bicicleta de spinning Nordika.*

Este tipo de bicicletas fueron diseñadas para que una persona se pueda ejercitar pero en este proyecto se le dará un segundo uso mientras la persona se esté ejercitando puede generar una gran cantidad de energía cinética la cual será aprovechada con otro dispositivo el cual generara energía eléctrica, la figura 1 muestra la bicicleta usada en el prototipo.



Figura 1 Bicicleta estática

B. *Batería de ciclo profundo Cale Solar CL-31-T-700.*

La batería CALE SOLAR (Figura 2) es libre de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo y está diseñada específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. Voltaje 12 V, CA=875 A, CCA=700 A y CR=190 min.



Figura 2 Batería.

C. *Controlador de carga ProStar-30 Controlador de carga.*

Este dispositivo es el encargado de cargar la batería de la manera correcta, también se encarga de la descarga de la batería, este dispositivo ayuda a que la batería prolongue su vida útil. La figura 3 muestra el controlador de carga.



Figura 3 Controlador de carga.

D. *Generador AMATEK.*

La función principal de este dispositivo (figura 4) es la generación de energía, para que el dispositivo genere un voltaje es necesario hacer girar la flecha del generador, el voltaje dependerá de la velocidad con la que esta sea girada. Ofrece 38 Vdc nominal y una corriente máxima de 12 A.



Figura 4 Generador eléctrico

E. Inversor samlexpower

Inversor de 120W cuya función es convertir 12v DC en 120V AC para después ser utilizado con diferentes dispositivos. La figura 5 muestra el inversor.



Figura 5 Inversor

F. Variador de velocidad GS2-10P5

Este dispositivo fue utilizado para hacer girar la fecha del generador y poder tener un voltaje constante en la salida del generador. ¼ hp a 1 hp, 115 VAC (Entrada de una sola fase). La figura 6 muestra el variador.



Figura 6 Variador de velocidad.

III. METODOLOGÍA

En la figura 7 y 8 se muestra el esquema general del prototipo de las etapas principales de la metodología, respectivamente.

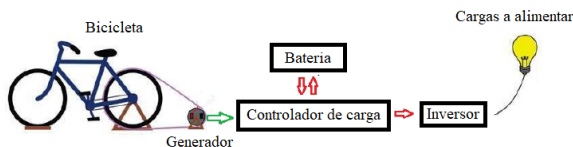


Figura 7 Esquema general del prototipo experimental



Figura 8 Metodología propuesta

A. Prueba de componentes.

En esta etapa de la metodología consistió en probar cada componente involucrado en el desarrollo del prototipo, es decir, el generador, el controlador de carga y la pila, principalmente.

B. Variador de velocidad + Generador

En esta etapa se llevó a cabo una caracterización del funcionamiento del generador eléctrico mediante el uso del variador de velocidad y un motor trifásico, esto con para simular el pedaleo de una persona.

Para llevar cabo esta etapa se realizaron las siguientes acciones:

- Instalación eléctrica.
- Acoplamiento del generador al motor trifásico.
- Configuración de los parámetros del variador de velocidad.
- Puesta en operación

En la figura 9 se muestra el diagrama eléctrico empleado para realizar la instalación eléctrica.

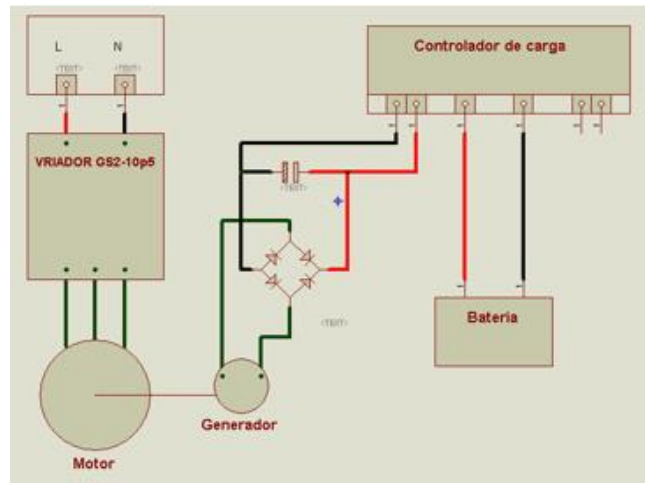


Figura 10 Diagrama eléctrico variador + generador

Los parámetros principales del variador que se configuraron se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Parámetros Variador

GS2- parametros	Descripción	Rango	Default
P0.00	Voltaje de la placa del motor	115V/230V: 200/208/220/230/240 460V: 380/400/415/440/460/480 575V: 380 to 637	240 480 575
P0.01	Amp del motor	Unidad de amperios nominales X .3 a 1.0	Conductor clasificado Amperios x 1.0 60
P0.02	Frecuencia base del motor	50/60/400	
P0.03	RPM de la base del motor	375 to 9999 RPM	1750
P3.00	Fuente de comando de operación	00: Operación determinada por teclado digital.	00
P4.00	Fuente de comando de frecuencia	00: Frecuencia determinada por teclado. potenciómetro	00

C. Diseño mecánico

Se diseña el sistema mecánico para acoplar la llanta de la bicicleta estática con el generador.

La figura 12 muestra el diseño con el que se ha estado trabajando.

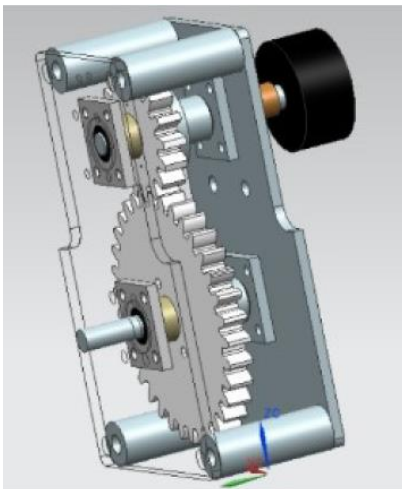


Figura 12 Diseño mecánico

D. Montaje de componentes

Esta etapa consistió en el montaje de todos los componentes involucrado en el proyecto:

- Montaje del sistema mecánico en la bicicleta.
- Montaje del generador al sistema mecánico
- Conexión de eléctrico de generador, pilar, controlador de carga e inversor.

IV. RESULTADOS

La figura 11 muestra el montaje del generador al motor trifásico, además de la operación del variador.



Figura 11 Motor trifásico y generador

Le montaje de los componentes principales del prototipo se muestran en la figura 12.

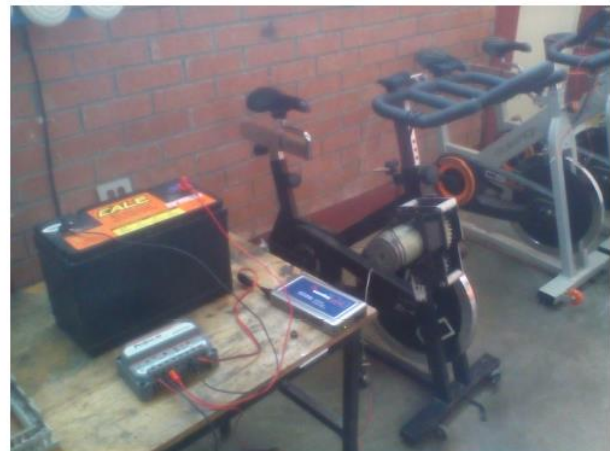


Figura 12 Montaje de componentes

Los siguientes datos muestran algunos resultados obtenidos a partir del uso del variador de velocidad con las siguientes cargas (figura 13):

- Resistencia de 150 ohms.
- Tira de leds
- Taladro



Figura 13 Cargas Empleadas

La tabla 2,3 y 4 muestran los datos con las tres cargas.

Tabla 2 Resultados resistencia 150 ohms

RPM	V	I	P
100	1.92	0.016	0.03072
200	5.35	0.0436	0.23326
300	8.77	0.071	0.62267
400	11.8	0.096	1.1328
500	15.5	0.1253	1.94215
600	18.9	0.153	2.8917
700	22.2	0.18	3.996
800	25.85	0.21	5.4285
900	29.3	0.238	6.9734

Tabla 3 Resultados tira de leds

RPM	V	I	P
100	2.2	0.005	0.011
200	5.4	0.019	0.1026
300	8.8	0.049	0.4312
400	11.9	0.093	1.1067
500	15.6	0.116	1.8096
600	18.9	0.134	2.5326
700	22.3	0.154	3.4342
800	25.7	0.173	4.4461
900	29.2	0.194	5.6648

Tabla 4 Resultados taladro

RPM	V	I	P
100	0.09	0.336	0.03024
200	0.28	1.003	0.28084
300	0.358	1.516	0.542728
400	1.57	1.919	3.01283
500	3.11	2.318	7.20898
600	4.9	2.726	13.3574
700	6.275	3.084	19.3521
800	14.68	3.445	50.5726
900	16.26	3.898	63.38148

V. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo muestra el desarrollo de un prototipo experimental para generar energía eléctrica a partir de la energía cinética generado por una persona al pedalear una bicicleta estática. El sistema mecánico empleando para conectar mecánicamente está conformado por sistema de engranes. Con este sistema se transmite el movimiento circular a circular, donde la rueda es la encargada de transmitir la velocidad y potencia, y de ella al engranaje dentado. Con los componentes descritos en este trabajo se

lograron resultados con diferentes cargas, tal como se muestran en las tablas 2,3 y 4. A partir de los experimentos realizados con el prototipo experimental, se puede tener el conocimiento y un prototipo real en un futuro no muy lejano que permita generar la energía eléctrica a partir del pedaleo, y que está pueda ser aplicada en una oficina o salón del Instituto.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por brindar la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente y a mis asesores por brindarme todo el apoyo para la realización de este artículo.

VII. REFERENCIAS

- [1] Rodríguez, L. A, Rodríguez, J. F y Velázquez, J.D (2015). "Proyecto bicicleta generadora de energía eléctrica para alumbrado público", presentado en Segundo Concurso ViveconCiencia 2015. <https://www.viveconciencia.com/2018/docs/2.pdf>
- [2] Rueda Alcalá, J.A. (2017). Análisis para la recuperación de energía cinética no aprovechada por medio del rin de una bicicleta. Tesis para obtener el grado de ingeniero mecánico, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional.
- [3] Espinoza., Jiménez, O. E. y Martínez, B. I. (2017). Energía eléctrica generada por magnetismo para el uso en un gimnasio. Tesina para obtener el título de técnico en máquinas con sistemas automatizados, Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No.9 Juan de Dios Bátiz, Instituto Politécnico Nacional.
- [4] Velásquez, R. (2015). Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática. Trabajo de grado para optar el título de: Tecnólogo mecánico, Facultad De Tecnologías Escuela de Tecnología Mecánica Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [5] Peña, W. F. y Nieto, O. A. (2016). Diseño de un sistema de conversión de energía mecánica a eléctrica a partir de dos máquinas de gimnasio (Elíptica Y Bicicleta Estática). Proyecto integral de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América.

VIII. BIOGRAFÍA

Víctor Antonio Maciel Soto. Nació el 21 de agosto de 1996. Obtuvo la licenciatura en Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango, México en el año 2018.



M.C. Noé Alvarado Tovar. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año de 2006, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final del sus estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de

Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



Ing. Raymundo Adame Delgado, nacido en Durango Dgo. el día 04 de enero de 1973. Se graduó de la Ingeniería Industrial Mecánica, con especialidad en Térmica, en el Instituto Tecnológico de Durango. Estudio la Maestría en Educación en la Universidad Interamericana para el Desarrollo, en Gómez Palacio, Dgo. Él actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la carrera de

Electromecánica, y en la Universidad Politécnica de Gómez Palacio en la especialidad de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura. Ha participado en el desarrollo de los prototipos “Convertidor de energías”, “Ciclo Rankine”, “Protector Solar para Auto” y “Bobinadora de mínimo Error”. Líneas de Investigación de interés: Automatización y Procesos de Manufactura.

Juan Meza Butrón. Nació el 28 de febrero de 1996. Actualmente alumno de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.

Gilberto Galván Aguirre. Nació el 31 de octubre de 1996. Actualmente alumno de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.

Desarrollo e implementación de plataforma experimental para la estabilización de dos motores brushless con RASPBERRY PI

I. Aguilera-Reza¹, N. Alvarado-Tovar², V. E. Manqueros-Avilés³, J. A. Castillo-González⁴, R. Chávez-Flores⁵, M. Galarza-Bonilla⁶, M. Hernández-Acosta⁷, J. E. Macías-Castro⁸, J. Quiralte-Valdez⁹.

Resumen— El presente trabajo muestra del desarrollo de una plataforma experimental por medio de la cual 2 motores brushless serán estabilizados. La plataforma constará principalmente de una estructura mecánica en la cual se montarán los motores brushless (con sus hélices) y una minicomputadora RaspBerry Pi 3. La minicomputadora rasperry y sus pines GPIO, controlarán tanto el encendido-apagado y velocidad de los motores con la finalidad de buscar su estabilización. La programación se desarrolla en el Lenguaje Python junto con el microcontrolador PIC18F2550 (entradas analógicas) estableciendo una comunicación serial con la rasperry pi, siendo esta el cerebro principal del prototipo.

El desarrollo de esta plataforma experimental será el punto inicial para en un futuro cercano desarrollar e implementar prototipos didácticos y de investigación en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, además de usarla para realizar prácticas relacionadas a la ingeniería electrónica, como por ejemplo control electrónico.

Palabras claves— Motores brushless, RaspBerry Pi 3, PIC18F2550, Lenguaje Python

Abstract— The present work shows the development of an experimental platform by means of which 2 brushless motors will be stabilized. The platform will consist mainly of a mechanical structure in which the brushless motors (with their propellers) and a RaspBerry Pi 3 minicomputer will be mounted. The rasperry minicomputer and its GPIO pins will control both the on-off and speed of the motors with the purpose to look for its stabilization. The programming is developed in the Python language together with the PIC18F2550 microcontroller (analog inputs) establishing a serial communication with the rasperry pi, being this the main brain of the prototype. The development of this experimental platform will be the starting point for in the near future to develop and implement didactic and research prototypes at the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, in addition to using it to perform practices related to electronic engineering, such as electronic control.

Keywords— brushless motors, Rasperry Pi 3, PIC18F2550, Python.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de microcontroladores-microcomputadora, tales como Raspberry, y motores brushless, entre otros dispositivos ha permitido el desarrollo de proyectos interesantes de bajo costo. Dentro de estos prototipos se pueden mencionar alguno de ellos como por ejemplo, en el desarrollo de un prototipo de robot móvil, el cual emplea una Raspberry Pi 3 para la programación de los movimientos de los motores [1]; el diseño y construcción un prototipo de cabeza animatrónica de bajo costo y que se asemeje al tamaño real de una cabeza humana, esto con el fin de realizar simulaciones, en este trabajo se emplea una rasperry para el control del movimiento de los servomotores y la obtención el video proveniente de cámaras instalada en el prototipo [2]; desarrollo de un sistema de control para la estabilización de un sistema mecánico compuesto por una barra rígida, en cuyos extremos se encuentran acoplados dos hélices a través de motores Brushless[3]; construcción de un cuatrorotor experimental con un microprocesador (MPU) como procesador central ejecutando un sistema operativo y las consideraciones para lograr una ejecución en tiempo real[4]

En el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo se ha decidido llevar a cabo una plataforma experimental de investigación respecto a la estabilización de un balancín mediante 2 motores incluidos para conocer más acerca de su funcionamiento y su estructura, y posteriormente realizar las pruebas necesarias. Además, también se busca llegar al desarrollo de mejoras que se pudieran integrar en un futuro al dispositivo y que beneficien al Instituto.

II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS

A. Raspberry Pi 3 (modelo B)

La función de la Raspberry (Figura 1) en el desarrollo del prototipo es el empleo de los pines GPIO integrados en la misma placa que servirán para el control de la estabilización de los dos motores brushless al enviar pulsos por medio de señal PWM.

^{1,2,3,4,5}Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Dpto. de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Av Tecnológico S/N Col Periférico, Cd. Lerdo, Dgo. CP 25150

¹ I. Aguilera-Reza (iaguilerareza@gmail.com).

² N. Alvarado Tovar (nalvarado@itslerdo.edu.mx)

³ V. E. Manqueros-Avilés (@itslerdo.edu.mx)



Figura 1 Raspberry Pi 3.

B. Controlador de velocidad ESC 30 A.

Son la herramienta con la cual se puede controlar la velocidad de los motores brushless. Este variador funciona por medio de pulsos, en este caso accionados desde la raspberry pi. Tienen una capacidad de corriente de salida máxima de 30A, con un voltaje de entradas de DC de 6 a 16.8V. La figura 2 muestra el controlador.



Figura 2 Controlador de velocidad ESC 30 A

C. Motores Brushless.

En este caso la función de estos motores es una cuestión básica, el giro que genera a las propelas (hélices). El valor de los motores brushless escogidos para esta investigación es de 1000 KV. En la figura 3 se muestra el motor.



Figura 3 Motores Brushless.

D. Hélices.

En el caso de las propelas estas fueron escogidas de 5 pulgadas debido a su mayor rango para levantar mayor peso. Las hélices empleadas se muestran en la figura 4.



Figura 4 Hélices.

E. Pic18f2550.

Este microcontrolador (figura 5) fue utilizado para realizar las lecturas análogas que emite el potenciómetro cuando el balancín se encuentra desestabilizado, mismas que el pic envía hacia el raspberry pi ya convertidas en señales digitales.



Figura 5 Pic18F2550.

F. Arreglo de engranes.

El sistema de engranes empleado en el prototipo permite convertir el movimiento mecánico del balancín en una señal analógica que variaba dependiendo de la posición del potenciómetro. La figura 6 muestra el sistema de engranes.



Figura 6 Sistema de engranes

G. Base de madera.

Se diseñó la base de madera en función de disponer una estructura sólida y firme para sostener el balancín a la altura y peso adecuado.

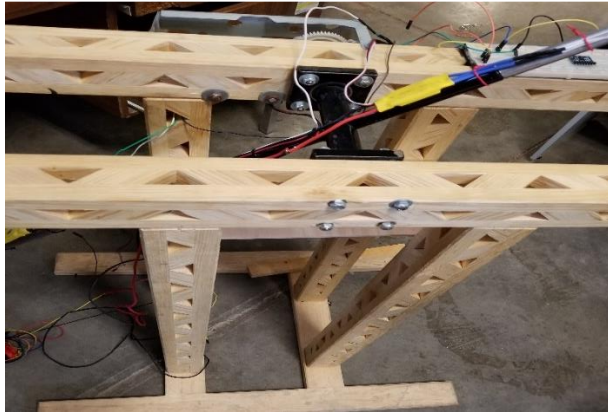


Figura 7 Base de madera.

H. Batería LiPo (Polímero de Litio).

Para obtener la alimentación adecuada para la operación del prototipo, se empleó una batería de 11.1v 5000mAh. Esta batería proporcionó el amperaje y duración adecuada para el funcionamiento del dispositivo.

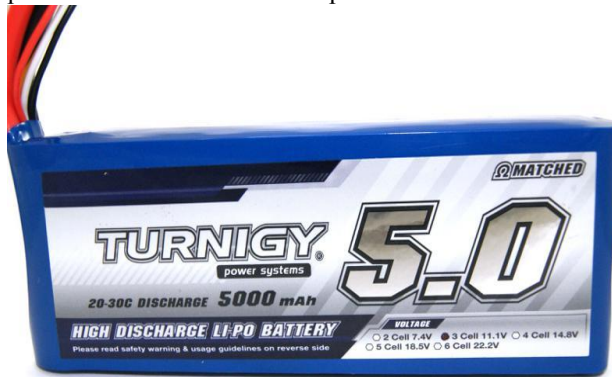


Figura 8 Batería LiPo (Polímero de Litio)

I. Fuente de alimentación.

Para las primeras fases experimentales fue necesaria el uso de una fuente de 12 V para obtener el suministro adecuado de alimentación que necesita el prototipo.



Figura 9 Fuente de alimentación

III. METODOLOGÍA

A. Estructura

En esta etapa se llevó a cabo la construcción de la base del prototipo teniendo en cuenta los rodamientos necesarios para elevar cada motor, así como su fuerza de empuje. La figura 10 se muestra la estructura desarrollada.

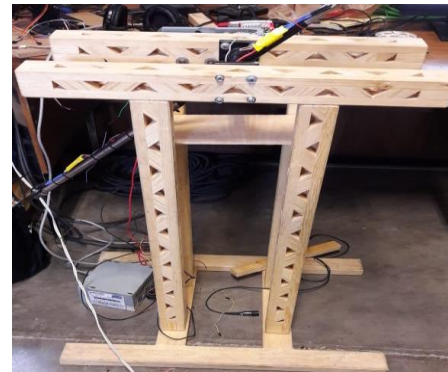


Figura 10 Estructura

B. Sistemas de engranes + Estructura

En esta etapa se llevó a cabo una relación entre el movimiento de la estructura y un sistema de engranes, esto para obtener el punto de equilibrio de la estructura.

Para realizar esta etapa se realizaron las siguientes acciones:

- Instalación eléctrica.
- Acoplamiento del sistema de engranes
- Configuración del potenciómetro que se encuentra en el sistema de engranes.
- Puesta en operación

La figura 11 muestra el sistema de engranes montado en la estructura.

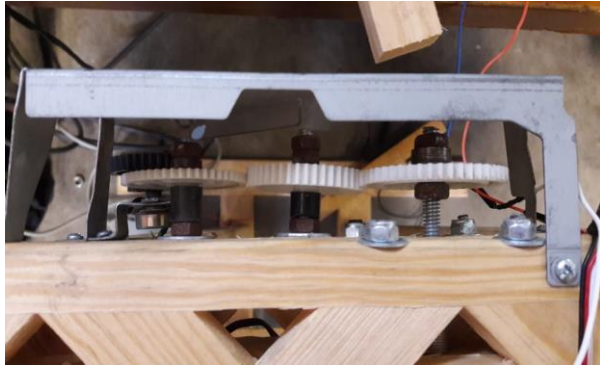


Figura 11 Estructura con el sistema de engranes.

C. Configuración y programación de la Raspberry Pi y el Pic18f2550.

Se instaló el sistema operativo necesario para la operación de la Raspberry, de manera automática se instala el lenguaje de programación de Python. Para hacer funcionar los motores brushless, se utilizaron los pines PWM que tiene a disposición la Raspberry. Después de tener a la mano los pasos necesarios para activar los motores, se realizó un programa capaz de calibrarlos y controlar su velocidad, cada motor con diferentes velocidades.

Se utilizó un controlador PD (Proporcional Derivativo) para las pruebas iniciales de estabilización de dos motores en cada extremo de la estructura.

También se llevó a cabo la programación del código funcional para el funcionamiento del PIC para que pudiera hacer la lectura analógica de datos recibidos por el potenciómetro, además de la comunicación de este con la Raspberry por medio del puerto USB.

D. Esquema de conexiones

En esta etapa de la metodología consistió en realizar y probar las conexiones que existen entre los componentes como: Raspberry, Pic8f2550, motores brushless y sus variadores de velocidad. La figura 11 muestra el diagrama de conexiones empleado.

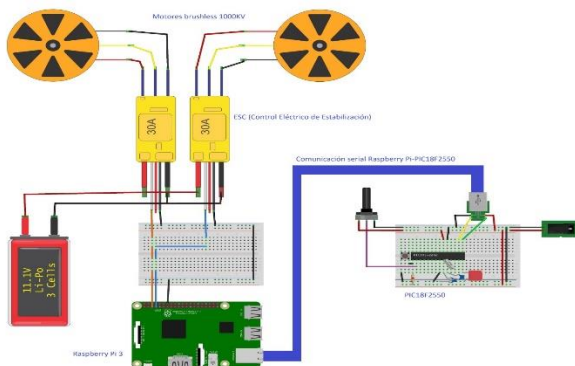


Figura 11 Esquema de conexiones

E. Montaje de componentes

Esta etapa consistió en el montaje de todos los componentes involucrado en el proyecto:

Montaje del sistema móvil de la estructura.

Montaje del sistema de engranes

Montaje del controlador lógico

Conexiones eléctricas fuente de voltaje, potenciómetros, pic18f2550, raspberry pi, motores brushless y sus variadores.

IV. RESULTADOS

Se diseñó y construyó una estructura para el balancín a base de madera con un arreglo de engranes y una base metálica que en conjunto deja libre a los motores para su estabilización.

Así como también se generó el código en Python, el cual es capaz de leer datos entre la Raspberry Pi y el Pic18f2550, mediante el cual se obtienen valores análogos a través del potenciómetro conectado al arreglo de engranajes.

El potenciómetro es ideal y sirve para saber la posición del balancín, ya que se hará una lectura de esta y se toma como una referencia de ubicación.

La finalidad de la programación fue llegar a un valor específico del potenciómetro donde los motores estabilicen de manera autónoma el balancín, de tal manera que se alcance el valor deseado incluso si se perturba la posición. Durante pruebas realizadas se obtuvo el equilibrio del balancín controlado en conjunto de la señal adquirida por el microcontrolador y de los cálculos de la raspberry pi.

Las figuras 12 y 13 muestran la posición inicial del balancín y la posición final ya estabilizado.

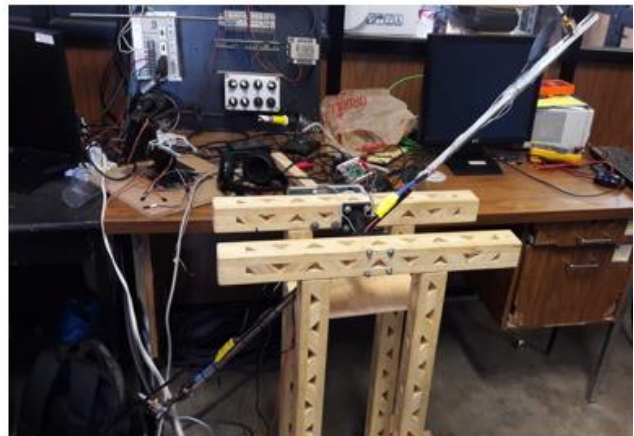


Figura 12 Posición inicial.



Figura 13 Posición final.

V. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se muestran las pruebas realizadas en la investigación, las cuales concluyeron en un éxito desde el fin de construir una estructura la cual nos permitió realizar pruebas con los motores brushless, así como la variación de su velocidad y la programación basada en Python, la cual consistió en adquirir datos de un giroscopio y la placa raspberry pi realizara el control de velocidad a partir de estos datos, variando así la velocidad de cada motor concluyendo con la estabilidad de la estructura. La búsqueda no sólo debe apuntar a generar nuevas fuentes, sino que éstas además deben ayudar a entender claramente el funcionamiento de una placa controladora programable como lo es la raspberry, así como las herramientas que componen la estructura y funcionalidad de un drone con el fin de que esta investigación dé paso al diseño en un futuro de un prototipo de drone y de otros prototipos didáctico de control, para que sirva de interés a nuevas generaciones que lleguen a comprender la utilidad de esta investigación, y sus componentes puestos a prueba con el resultado esperado para que éstas generen nuevos avances tecnológicos con la investigación antes mencionada, una programación más compleja, así como la instalación de nuevas tecnologías y a su vez una utilidad más eficiente. Es por ello que esta investigación se inició desde cero con apoyo de fuentes de información confiables relacionadas al proyecto para así concluir en un resultado deseado sobre el paso al desarrollo de un drone plenamente funcional. Cabe destacar que este proyecto se encuentra en fase de pruebas y construcción de prototipos, sin olvidar el objetivo que se tiene a un futuro cercano, no sólo para fines educativos, sino para la aportación de conocimientos nuevos en nuestra vida cotidiana y experiencia en investigaciones y desarrollo de proyectos.

Dentro de las actividades a futuro, una de ellas es el empleo de otras leyes de control, además de la que se empleó en el

prototipo. También el desarrollo de una interfaz de usuario que permita un uso más fácil del prototipo.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por brindar el apoyo para desarrollar el prototipo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Malagón, S. M.; Mendoza, A. L. y Ruíz, A. (2017) "Robot móvil con planeación de trayectoria en un ambiente controlado," *Pistas Educativas*, vol. 39, pp. 324-339.
- [2] De la Rosa, R.; Castillo, E. M.; Zepeda, C.; Castillo, H. y Cervntes, A. (2018) "Prototipo de cabeza animatrónica de bajo costo, utilizando microcontroladores, servomotores y componentes 3D para aprender manipular robots humanoides reales", *Pistas Educativas*, vol. 40, pp. 2138-2152.
- [3] Gallegos, I. (2017) "Sistema de control de un dispositivo mecánico balanceado por medio de dos hélices", Tesis para obtener el título de Ingeniero en computación, Centro Universitario UAEM Atlacomulco, Universidad Autónoma del Estado de México.
- [4] Gómez, A. y Rodríguez, H. (2018) "Control en Tiempo Real de un Cuatrirotor Empleando una Computadora en Placa Reducida", *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático*, pp. 418-423

VII. BIOGRAFÍA



Ignacio Aguilera Reza. Nació el 6 de agosto de 1997. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



M.C. Noé Alvarado Tovar. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año de 2006, en la especialidad en

Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final del sus estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



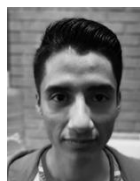
Manqueros Avilés Víctor Edi. Nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de Diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001, Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango. Actualmente trabaja como docente e Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, dentro de la división de

posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 10 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.



Joel Quiralte Valdez.

Nació el 23 de diciembre de 1997. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



Jafet Alahí Castillo-González.

Nació el 14 de octubre de 1996. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



Roberto Chávez Flores.

Nació el 30 de Marzo de 1997. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



Misael Galarza Bonilla.

Nació el 12 de septiembre de 1997. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



Misael Hernández Acosta.

Nació el 24 de octubre de 1996. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.



Jesús Eduardo Macías Castro.

Nació el 23 de diciembre de 1996. Actualmente alumno de la Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango.

Ingeniería de requerimientos aplicada a un software de gestión para los laboratorios de prácticas del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

E. Moreno-Núñez¹, M.G. Flores-Luévanos¹, K.V. Rodríguez-Lozano¹, J.M. Arzola-Monreal¹.

Resumen— La ingeniería de software inicia técnicamente con un conjunto de tareas de modelado dirigidas a la especificación de los requerimientos y a la representación del software a elaborar. La ingeniería de requisitos es el proceso de descubrimiento, análisis, documentación y verificación de los requisitos del producto de software deseado. Este artículo describe la aplicación de tareas y técnicas de la ingeniería de requerimientos, en las etapas de análisis y diseño de una solución de software cuyo objetivo es optimizar el acceso y registro en los laboratorios de prácticas del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Por medio del software se obtienen, entre otras, las estadísticas del uso de los laboratorios por los docentes en las distintas especialidades, disponibilidad y estado físico de los equipos; para apoyar a la toma de decisiones pertinentes enfocadas a la mejora continua de esos espacios educativos. Dado que la calidad del software implica el cumplimiento de expectativas y el apego a estándares, se sostuvo una estrecha colaboración con los futuros usuarios del sistema y las tareas se enmarcaron en una metodología de desarrollo. Así, el diseño resultante resultó en una base sólida para la construcción exitosa del software.

Palabras claves— Análisis, Ingeniería de requerimientos, Ingeniería de Software.

Abstract— Software engineering starts technically with a set of modeling tasks aimed at specifying the requirements and representing the software to be developed. The requirements engineering is the process of discovery, analysis, documentation and verification of the desired software product requirements. This article is described the application of tasks and techniques of requirements engineering, in the stages of analysis and design of a software solution whose objective is to optimize the access and registration in practices laboratories of the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Through software they will have to obtain, among others, statistics of the use of the laboratories by teachers in different specialties, availability and physical condition of equipment; to support relevant decision making focused on the continuous improvement of those educational spaces. Since the quality of the software implies the fulfillment of expectations and the adherence to standards, a close collaboration was maintained with future users of the system and the tasks were framed in a development methodology. Thus, the resulting design resulted

in a solid foundation for the successful construction of the software.

Keywords— Analysis, Requirements Engineering, Software Engineering.

I. INTRODUCCIÓN

El instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define a la ingeniería de software (en adelante IS) como “la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software: es decir, la aplicación de la ingeniería al software” [1]

Pressman [2] dice que “debe hacerse ingeniería con el software en todas sus formas y a través de todos sus dominios de aplicación.” Para la construcción adecuada de la IS, se define un proceso de desarrollo, el cual se divide en tres fases genéricas, independientemente del área de aplicación, tamaño o complejidad del proyecto, las cuales son: fase de definición, de desarrollo y de mantenimiento.

En la primera fase, se identifican: la información a manejar, las funciones y el rendimiento deseados en el software, su comportamiento, interfaces, restricciones de diseño y criterios de validación. La IEEE define al requerimiento como la condición o capacidad que debe satisfacer o poseer un sistema o un componente de éste para satisfacer un contrato, un estándar, una especificación u otro documento impuesto de manera formal [1]. La IS inicia técnicamente con un conjunto de tareas de modelado dirigidas a la especificación de los requerimientos y a la representación del software a elaborar. El objetivo principal de la ingeniería de requerimientos (IR) es esclarecer con claridad, corrección y consistencia las especificaciones válidas para el comportamiento del sistema a construir, con el fin de disminuir los problemas que se desdoblaron en el proceso de desarrollo de éste y que afectan la calidad del producto final de software. Existen varias técnicas para la IR, entre las que figuran: entrevistas, cuestionarios, sesiones de lluvia de ideas, elaboración y evaluación de prototipos, casos de uso y el uso de herramientas automatizadas para la gestión de los requisitos [3],[4]. En el

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México. Elda Moreno Núñez *emoreno@itslerdo.edu.mx.

artículo se aborda la explicación de las actividades de la ingeniería de requerimientos, así mismo se describe la aplicación de tareas y técnicas de ésta en las etapas de análisis y diseño de una solución de software cuyo objetivo es la optimización de los accesos y registros de los usuarios de los laboratorios de prácticas del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Se incluyen los resultados obtenidos del proceso: la documentación formal de los requerimientos, el modelo de casos de uso, modelo de datos y las interfaces gráficas de usuario propuestas para el software de gestión de los laboratorios de prácticas del ITSL.

Por medio de este software se deberán obtener, entre otras, las estadísticas del uso de los laboratorios por los docentes en las distintas especialidades, disponibilidad y estado físico de los equipos; para apoyar a la toma de decisiones pertinentes enfocadas a la mejora continua de esos espacios educativos. La mayoría de las anomalías de los productos finales de software tienen su inicio en la fase de definición y se deben a un análisis, documentación y/o verificación incompleta o incorrecta de los requisitos. En añadidura, dichos defectos provocan un desacuerdo entre las necesidades o deseos de los usuarios finales o clientes, e implican costos elevados en su remediación, entre otras consecuencias no deseadas por el equipo de desarrollo. Dado que la calidad del software implica el cumplimiento de expectativas y el apego a estándares [2], [5], [6], [8], el supuesto que guió esta investigación aplicada fue que por medio de una estrecha colaboración con los futuros usuarios del sistema, la selección y el seguimiento de una metodología de desarrollo como marco del proceso y el apego a técnicas y estándares, el diseño resultante ofrecerá una base sólida para la construcción exitosa del software.

II. APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS

Para el desarrollo del software se propuso la metodología incremental. Se eligió debido a que el alcance del proyecto es amplio y supone la participación de los encargados de los laboratorios de prácticas con que cuenta el ITSL. A pesar de que los requerimientos generales se enuncian desde un principio por los interesados, se espera que surjan cambios en algunos de los requerimientos o se añadan nuevos. La metodología incremental se caracteriza por permitir la construcción del software mediante incrementos, y cada uno se compone de un conjunto de nuevas funcionalidades. Se basa en el tradicional ciclo de vida en cascada; siendo sus etapas globales: análisis, diseño, codificación y pruebas, aunque en el desarrollo incremental éstas se repiten las veces que sea necesario hasta lograr un producto de software que satisfaga plenamente las expectativas de los usuarios finales y clientes [2].

A. Obtención de Requerimientos

Para el descubrimiento de los requisitos el equipo de análisis, conformado por cuatro ingenieros de software, acordó visitar los laboratorios de prácticas del instituto, con el objetivo de documentar el proceso actual de registro de las prácticas en cada uno de dichos anexos educativos. Se elaboró una breve guía de entrevista con las siguientes preguntas, dirigidas a los encargados de cada laboratorio y a los jefes divisionales, que tienen bajo su jurisdicción esos espacios educativos. Las preguntas iniciales fueron las siguientes:

- ¿Qué información se registra cada vez que un profesor hace uso del laboratorio?
- ¿Qué documentos utilizan en el laboratorio para el control del uso del mismo?
- ¿Cómo puede el profesor expresar las anomalías que encuentre en el laboratorio?
- ¿Qué observaciones o sugerencias tiene para el proceso actual?
- ¿Qué debería incluirse en un software que automatice la administración del ingreso de los profesores y estudiantes para la realización de las prácticas?

En una reunión se compartieron los resultados obtenidos, mismos que se plasmaron en documentos de textos compartidos en un espacio de almacenamiento en la nube.

B. Análisis de los requisitos

La siguiente actividad consistió en revisar los textos para encontrar similitudes y diferencias en las respuestas de los entrevistados. Las semejanzas se clasificaron y las diferencias se agruparon en una categoría expofeso. Con las primeras, se procedió a analizarlas para desglosar en elementos simples aquellas que resultaban complejas en su especificación. Se identificaron tres categorías generales de requisitos: aquellos referentes al almacenamiento permanente y/o temporal de la información, los que denotaban actividades del proceso de registro y los que expresaban necesidades organizacionales.

Así mismo se revisó la categoría de “diferencias”. Se identificó que los encargados de dos laboratorios solamente eran los que habían expresado esas necesidades, mismas que se referían al control del material prestado a los estudiantes para la realización de sus actividades en el laboratorio y a la consulta de la disponibilidad de los espacios vía remota, sin necesidad de acudir el profesor o estudiante en persona.

El equipo de desarrollo acordó trabajar con los requerimientos comunes a la mayoría de los espacios y se procedió a dar forma a los requerimientos funcionales.

Continuando con la fase de análisis de requisitos, se programó una reunión con el jefe del Centro de Cómputo

del ITSL con el objetivo de mostrarle el modelo de requisitos inicial. La decisión de acudir con él tuvo varias razones: el Centro de Cómputo (C.C.) tiene a su cargo la administración de 10 laboratorios del ITSL, de los servidores web y de aplicaciones donde residen los sistemas de software institucionales y controla, en conjunto con el departamento de servicios escolares, la base de datos de los profesores y estudiantes pertenecientes al instituto.

De la reunión se derivaron requisitos no funcionales como restricciones al software: lenguajes y licencias de desarrollo, colaboración de personal del C.C. en tareas específicas; información necesaria de la base de datos institucional, manera de utilizar los servicios web, entre otros. También se acordaron algunas modificaciones a los requisitos funcionales iniciales. En la reunión estuvieron presentes el personal de administración del C.C. y el equipo de desarrollo.

Entre los requisitos funcionales, en términos generales, el sistema proporcionará soporte a las siguientes tareas de control de los profesores y estudiantes que ingresan a los laboratorios de prácticas:

- Registro del ingreso de docentes internos y externos al laboratorio de prácticas.
- Gestión de apartados de laboratorio.
- Generación de reportes de los datos almacenados.
- Facilitar el llenado de una encuesta de satisfacción.
- Los interesados administrativos como el subdirector académico y los jefes de división podrán acceder al sistema sólo para consulta y generación de reportes.
- El sistema guardará la información de los docentes externos que utilicen algún laboratorio de prácticas, los cuales son especificados a continuación: el nombre completo del profesor, institución de procedencia y laboratorio asignado.

En cuanto a los requisitos no funcionales, se determinaron:

- Para el desarrollo del sistema informático se utilizarán los lenguajes PHP con el framework Bootstrap, HTML5, Javascript, MySQL como el sistema gestor de base de datos y el entorno gráfico de workbench para su administración.
- La interfaz de usuario del sistema se implementará con HTML 5, PHP y el Framework Bootstrap y deberá funcionar con los navegadores Internet Explorer, Mozilla Firefox y Google Chrome.
- El diseño de la interfaz principal del sistema deberá cumplir con los lineamientos especificados en la “Guía Básica Web” de la Subsecretaría de Educación Superior de la SEP.
- Este proyecto implementará dispositivos de

lectura digital de código Quick Response Code (QR).

- Se hará uso de servicios web para la obtención a través de la red interna, de los datos de los profesores y estudiantes, mismos que se encuentran en la base de datos institucional. De esta forma se eliminará la necesidad de capturar nuevamente esa información.
- La información de los estudiantes, departamentos y personal del instituto que se almacene y utilice deberá ser la misma del sistema de calificaciones del Instituto, para evitar errores de actualización o ambigüedad en los datos.
- El sistema deberá utilizar un algoritmo para la encriptación de las contraseñas de los usuarios.
- La base de datos se configurará para crecer automáticamente en forma ilimitada, el crecimiento del registro de transacciones será automático en un 10 % cada vez, sin límite. El tamaño de la BD estará definido por el espacio de almacenamiento destinado para el sistema en el disco duro del servidor Web, definido por el administrador del C.C.

C. Trazabilidad

La trazabilidad permite encontrar las dependencias entre los requisitos, entre éstos y los componentes del diseño y con la documentación, siendo básica para el control de la calidad. [3], [7], [8].

Para asegurar la trazabilidad de los requisitos, se generó una matriz con la información de todos y cada uno de los requisitos, en la Tabla I se muestra, por razones de espacio, sólo una sección de esta matriz con la información correspondiente a la jerarquización del requisito funcional 01. Se definieron: un código de identificación, su descripción y el interesado que lo originó, Además se asientan: el nivel de complejidad, el nivel de prioridad del requisito, el estado actual, la fecha en que fue registrado, como se muestra en la Tabla II.

TABLA I
MATRIZ DE TRAZABILIDAD DEL RF01. 1ª PARTE.

Id.Req.	Descripción del requisito	Estado actual	En fecha (estado registrado)
RF01	Registro del ingreso de profesores al laboratorio.	Aprobado	02/05/18
RF01.1	Los docentes se identifican mediante su número de empleo, o credencial con código de barras o QR	Aprobado	02/05/18

RF01.2	Capturar el número y nombre de la práctica a realizar	Aprobado	02/05/18
RF01.3	Los docentes seleccionan el tipo de práctica	Aprobado	02/05/18
RF01.4	Los docentes capturan el número de alumnos	Aprobado	02/05/18
RF01.5	Los docentes seleccionan el software a utilizar	Propuesto	02/05/18

TABLA II
MATRIZ DE TRAZABILIDAD DEL RF01. 2ª PARTE

Id.Req.	Nivel de complejidad	Interesado (Stakeholder) dueño del requisito	Nivel de prioridad
RF01	Medio	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Alto
RF01.1	Alto	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Alto
RF01.2	Bajo	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Medio
RF01.3	Bajo	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Alto
RF01.4	Bajo	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Medio
RF01.5	Medio	Jefe de C.C/Jefes divisionales	Medio

D. Especificación y validación.

Para la documentación de los requisitos, se optó por utilizar el estándar propuesto por la IEEE para la especificación de requisitos de software IEEE 830-998. Con base en este documento formal, el siguiente paso fue generar una serie de diagramas, utilizando la notación UML (lenguaje de modelado unificado) específicamente diseñada para representar, construir y documentar elementos de software bajo el paradigma orientado a objetos [9], con el software libre ArgoUML.

Diagramas de casos de uso.

En la Figura 1 se muestran todos los usuarios que tienen interacción con el sistema.

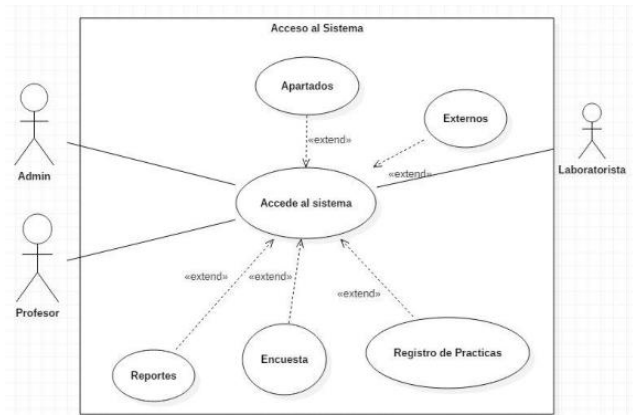


Figura 1. Diagrama de casos de uso de acceso al sistema

En la Figura 2 se muestra el diagrama de casos de uso para el requisito funcional 01, registro de los docentes que ingresan a realizar prácticas en el laboratorio. La interacción con esta funcionalidad puede darse con el profesor o el encargado del laboratorio, quienes deberán introducir los datos de la práctica: número, nombre, tipo, software utilizado, cantidad de alumnos atendidos. Esta funcionalidad incluye contestar una encuesta de satisfacción.

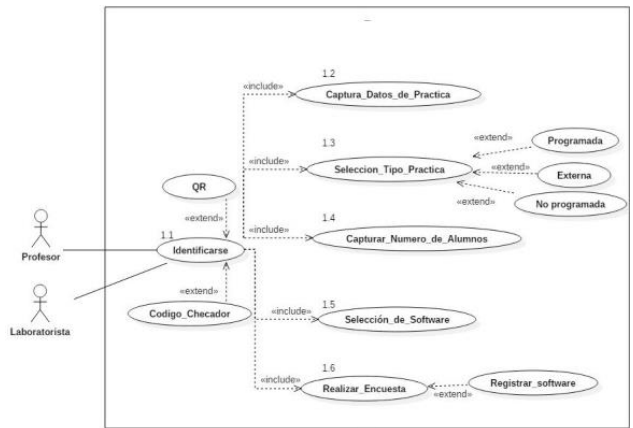


Figura 2. Diagrama de casos de uso registro de usuarios del laboratorio

Diagrama relacional.

En la Figura 3 se muestra el diagrama relacional de la base de datos creada para dar satisfacción a los requisitos de almacenamiento especificados, utilizando el SGBD MySQL Server.



Figura 7. Maquetado de la interfaz de reportes.

IV. CONCLUSIÓN

Después de aplicar las actividades básicas de la IR se obtuvo un modelo de requisitos constituido por: un documento de especificación de requisitos que sigue el estándar 830-1998; un modelo de casos de uso, con diagramas y descripciones de escenarios; una matriz de trazabilidad de requisitos; un modelo de datos y un conjunto de interfaces gráficas con flujo. Estas actividades se enmarcan en las etapas de análisis y diseño correspondientes a las primeras iteraciones en el desarrollo incremental del software de gestión de los laboratorios de prácticas del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

En las revisiones a los productos generados se encontraron inconsistencias, errores y omisiones, que se subsanaron en el mismo modelo de requisitos; el diseño resultante ofreció una base sólida para la construcción exitosa de la primera versión del software, que incluye, entre otras, las funcionalidades descritas en este artículo. Puesto que no se descartan mejoras al software creado, se prevé que será necesario ejecutar de nuevo el proceso de IR para la definición e implementación correcta de las nuevas funcionalidades a incluir en las siguientes versiones. La ingeniería de requisitos ofrece una plataforma sólida para continuar con el desarrollo hasta obtener el producto final de software con la calidad deseada.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Subdirecciones de Posgrado y de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Instituto, por su apoyo para la publicación de este artículo. Un agradecimiento especial al equipo de estudiantes prestadores de servicio social por su valiosa colaboración.

VI. REFERENCIAS

- [1] *IEEE recommended practice for software requirements specifications*. IEEE Computer Society. Software Engineering Standards Committee, & IEEE-SA Standards Board. 1998.
- [2] Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software. Un Enfoque Práctico*. Madrid: McGraw-Hill.
- [3] Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software*, Naucalpan de Juárez: Pearson.
- [4] Serrano, G. L. (1996). *Ingeniería de sistemas de software*. Madrid: Isdefe
- [5] Arias Chaves, M. (2005). La ingeniería de requerimientos y su importancia en el desarrollo de proyectos de software. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, VI (10), 1-13.
- [6] Davis, A., Overmyer, S., Ta, A., Theofanos, M., Jordan, K., Caruso, J., & Reynolds, P. (1993). Identifying and measuring quality in a software requirements specification. In *Proceedings First International Software Metrics Symposium* (pp. 141-152). IEEE.
- [7] Villafañe, A., Ferraro, M. D. L. A., Medina, Y., Greiner, C. L., Dapozo, G. N., & Estayno, M. G. (2013). Herramienta de gestión de trazabilidad de requerimientos en proyectos de software. In XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.
- [8] *ISO/IEC 25010 Quality model and guide*. (International Organization for Standardization. 2011
- [9] Schmuller J. (2000) *Aprendiendo UML en 24 horas*, México: Prentice Hall

VII. BIOGRAFÍA

Moreno Núñez Elda. Nació en Gómez Palacio, Durango, México. Es ingeniera en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de la Laguna (1996), Maestra en Administración por la Universidad Autónoma de Coahuila (2012) y Doctora en Desarrollo Educativo por la Universidad Autónoma de la Laguna (2018), todas instituciones en Torreón, Coah., México. Ella actualmente es profesora asociada 'C' en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la ciudad de Lerdo, Durango, México. Imparte cátedra en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales desde el año 2005. Colaboró ocho años en la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte de la Comisión Nacional del Agua, en Torreón, Coah. México. Sus áreas de interés son la educación y la ingeniería de software.





Flores Luévanos María Guadalupe. Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, es Ingeniero en Sistemas Computacionales. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México (2002). Estudió la Maestría en Administración en la Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coah., México. (2004). Ella es Profesora Titular A del Instituto

Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México. Sus áreas de interés son el Desarrollo de aplicaciones en el área de Sistemas Computacionales.

Rodríguez Lozano Karla Verónica. Nació el



01 de junio de 1981 en la ciudad de Torreón, Coahuila. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna, en el año de 2012, obtuvo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales, y obtuvo el grado de maestro en Administración en el año de 2005, en la Universidad Autónoma de Coahuila, ambos en Torreón, Coah. México. Experiencia docente de más de 10 años en la

impartición de clases en las áreas de sistemas computacionales. Docente con actividades en el área de investigación y desarrollo tecnológico produciendo 14 proyectos de Software y un registro de marca, integrando alumnos a los proyectos de investigación. Experiencia profesional de más de 12 años en el soporte empresarial en el ámbito de las tecnologías de la información.



Arzola Monreal Juan Martín. Nació en Ciudad Lerdo, Durango. México, es Licenciado en Informática. Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Ciudad Lerdo, Durango. México (2002). Estudió la Maestría en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coahuila. México. (2007).

Él actualmente es docente del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Ciudad Lerdo. Durango. México. Sus áreas de interés son las redes computacionales, investigación de operaciones y el diseño CAD y vectorial.

“Diseño y fabricación de bomba de infusión tipo jeringa para el análisis de muestras de Papanicolaou en citología líquida”

E.A. Reyes-González¹, S. Tello-Mijares¹, J.J. Linares-Aranda¹.

Resumen—Para detectar el cáncer de cuello uterino de la mujer existen dos tipos de exámenes: La prueba de Papanicolaou (Pap) y la del virus del papiloma humano (VPH), y deberían formar parte del chequeo médico rutinario de la mujer. Un método alternativo para estas pruebas es la citología en base líquida el cual mejora el análisis e interpretación de las muestras realizadas en el microscopio, eliminando un porcentaje de resultados de falsos negativos. Este artículo presenta el análisis diseño y fabricación de bomba de infusión tipo jeringa para el análisis de muestras de papanicolaou en citología líquida, La bomba de infusión tipo jeringa diseñada permite realizar un movimiento lineal en dos direcciones (izquierda/derecha), el control lo realiza un motor a pasos como principal elemento actuador, por medio de una interface de control. Se describe como se obtuvo la presión requerida para empujar el émbolo de la jeringa utilizando dinamómetros en las muestras de jeringa de 1ml y 0.1 ml, se muestra el diseño creado, se describen los detalles del diseño y se hace una descripción del material seleccionado para la fabricación de la base mecánica. Se muestra además para el sistema de control electrónico e interface de control la descripción del material electrónico seleccionado y la programación realizada, anexando las pruebas preliminares y finales de la bomba de infusión tipo jeringa.

Palabras claves—Bomba de infusión tipo jeringa, control electrónico, interface de control, pruebas de papanicolaou.

Abstract. There are two types of tests to detect cervical cancer in women: the Pap test and the human papillomavirus (HPV) test, and they should be part of a woman's routine medical check-up. An alternative method for these tests is liquid based cytology which improves the analysis and interpretation of the samples made in the microscope, eliminating a percentage of false negative results. This article presents the analysis and design of a syringe infusion pump for the analysis of pap smears in liquid cytology. The syringe infusion pump designed allows a linear movement in two directions (left / right), the control is performed a stepper motor as the main actuating element, by means of a control interface. The pressure required to push the plunger of the syringe using dynamometers in the 1ml and 0.1ml syringe samples is described, the created design is shown, the details of the design are described and a description of the selected material is made. manufacture of the mechanical base. Also shown for the

electronic control system and control interface is the description of the selected electronic material and the programming made, attaching the preliminary and final tests of the syringe-type infusion pump.

Keywords- Syringe type infusion pump, electronic control, control interface, pap tests.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es el análisis de la citología en base líquida mediante un sistema de fluidica proponiendo un diseño y fabricación de un sistema electro-mecánico que permita realizar las mismas funciones que una bomba de infusión para introducir la citología al sistema. La prueba de Papanicolaou es una manera de examinar células recolectadas del cuello uterino y la vagina. Esta puede mostrar la presencia de infección, inflamación, células anormales, o cáncer [1]. La citología en base líquida, es un método que surgió, con la intención de evitar los resultados falsos negativos (falta de identificación de las células anormales, cuando están presentes) de la citología convencional ya que puede ofrecer mejores resultados, en la detección de las lesiones cervicales precancerosas. Restrepo, J.E. (2007) Presenta en [2] un diseño y construcción de un prototipo de jeringa de infusión para neonatología, su investigación se enfocó en el diseño mecánico y electrónico. Menciona que el principal motivo de su proyecto fue obtener un prototipo local, competitivo y funcional que cumpliera con todas las características de los equipos del mercado y apoyar a los hospitales del sector rural. Su diseño se basó en un modelo comercial actual que busco emular con el objetivo de crear un campo de desarrollo en su país (Colombia).

Wijnen, B. et al. (2014) Fabricaron en [3] una bomba de infusión tipo jeringa utilizando materiales o equipo de bajo costo. Para las partes de fijación de la jeringa emplearon el uso de una impresora 3D y para la programación del sistema utilizaron la tarjeta electrónica raspberry Pi. Las consideraciones que mencionan los autores durante la etapa

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. A. Tecnológico No 1555, Periférico Lerdo Km.14.5 Placido Domingo, 35150 Cd. Lerdo Durango.
* jtello@itslerdo.edu.mx

de su investigación fue que el primer paso importante es determinar el torque del motor, definiendo el torque se define el tamaño del motor, también se debe tener en cuenta que un motor grande necesita componentes más grandes y una jeringa grande tiene menos precisión.

Saidi, I. et al. (2010) Diseñaron en [4] una bomba de infusión eléctrica empleando un actuador lineal a pasos tubular, los autores afirman que los diseños de la mayoría de las bombas eléctricas de infusión son diseñados empleando actuadores rotatorios (motores a paso/servomotores), mencionan que los actuadores lineales presentan movimientos dinámicos hacia una sola dirección sin la necesidad de girar. La bomba de infusión tipo jeringa que desarrollaron combina elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

La parte mecánica se emplea como soporte para distintos tipos de jeringas. También incluye sensores que permiten comprobar la posición de fijación del pistón.

Reddy, S. et al. (2014) Desarrollaron en [5] un prototipo de bomba de infusión del tipo jeringa, el elemento actuador que utilizaron fue un motor a pasos de 6 hilos, el movimiento rotatorio del motor a pasos se transformó a un movimiento lineal por medio de un mecanismo basado en un tornillo sin fin el cual proporciona un movimiento suave al operar el sistema. Los autores realizaron pruebas con agua a diferentes rangos de presiones.

Amaya, M. et al. (2015) Presentan en [6] una investigación sobre estandarizar la técnica de citología en base líquida mediante el uso del medio fijador (BDSUREPath) y de cito centrífuga e identificar las posibles ventajas sobre citología convencional, Al finalizar los análisis de las muestras de las pacientes se llegó a la conclusión de que la citología en base líquida mejora significativamente el análisis e interpretación de las muestras al estar en un fondo blanco libres de moco y sangre. Concluyen con la necesidad de reemplazar la citología convencional por la de base líquida.

Martínez, S. V. (2005) Presenta en [7] la importancia de la citología cervical como método de tamizaje para la detección de cáncer de cuello uterino se debe a su relativa simplicidad y bajo costo del examen. Menciona que la citología cervical, está limitada por resultados falsos positivos y falsos negativos esto debe a los errores en la toma y procesamiento de la muestra o errores en la búsqueda e identificación de las células malignas y en su interpretación. De las ventajas que se ha obtenido con este método es la reducción de las muestras inadecuadas; se reduce el rango de inadecuados de 9 por ciento a 1-2 por ciento y disminuye el tiempo empleado en la interpretación porque facilita la observación de las células.

Monroy, S. (S.F.) Menciona en [8] que gracias al uso de estos dispositivos se ha disminuido el porcentaje de errores

humanos en el suministro intravenoso de medicamentos.

Destaca la introducción de la electrónica en el área de la medicina y a las bombas de infusión ya que permiten la resolución de la problemática de la administración de soluciones parentales, transfusiones sanguíneas y la infusión de soluciones parentales y enterales, menciona que antes las enfermeras destinaba gran parte de su tiempo a la vigilancia del flujo de estos fluidos, tratando de obtener precisión en la infusión, no logrando esa precisión debido a múltiples factores dando como resultado complicaciones en la recuperación del paciente y con ello la prolongación de su estancia.

Elsa Batista, E. et al. (2000) mencionan en [9] que existen varios métodos para la calibración y verificación de los dispositivos de infusión, entre los que destacan el método de comparación "in situ", el cual consiste en utilizar un medidor de flujo y el método gravimétrico. El procedimiento de calibración para los instrumentos de infusión se basa en la IEC 60601-2-24. La jeringa se llena con agua ultra-pura, sin que quede aire atrapado. Una cantidad de agua se pasa al tubo con el fin de eliminar todas las burbujas de aire. El flujo a calibrar es entonces programado en la bomba y el agua se recoge en la balanza. Los autores concluyen en que el mantenimiento regular y calibración de los instrumentos de infusión permiten la identificación y corrección de errores, así como reducir al mínimo las posibles situaciones de riesgo para el paciente.

Llamosa, L. E. et al. (2008) explican en [10] el funcionamiento y componentes de las bombas de infusión de tipo jeringa. También hace énfasis sobre el procedimiento de calibración que se tiene que seguir para realizar la calibración de una bomba de infusión. Para esto se requiere también de un patrón con el cual se compararán las mediciones y asegurar que la bomba de infusión está dentro de los rangos de operación.

Hayama, F.H. et al. (2004) mencionan en [11] la importancia de utilizar el método de la citología líquida en el diagnóstico en lesiones orales y su importancia en la disminución de resultados falso-negativos en el análisis de lesiones de carcinoma oral. Al analizar se obtiene un fondo claro con lo que aumenta la sensibilidad y la calidad. Comparando con los frotis convencionales, el uso de preparaciones de base líquida ha permitido reducir considerablemente el número de preparaciones insatisfactorias o satisfactorias pero limitadas, debido a las características del ejemplar, lo que disminuye el número de resultados falsos negativos. Para el análisis comparativo de ambas técnicas se usaron cinco parámetros: espesura, distribución celular, microbiota, inflamación/leucocitos y características.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La mayoría de los cánceres invasores del cuello del útero se pueden prevenir si la mujer se hace pruebas de Papanicolaou con regularidad.

Al analizar muestras de Papanicolaou de forma convencional existe la dificultad al definir los resultados de las muestras debido al amontonamiento de las células al ser observadas por el microscopio (Figura 1 (a)). Dando resultados falsos o erróneos, provocando un atraso en el diagnóstico del paciente.

El método de la citología líquida nos permite lograr eliminar la superposición de las células, logrando así una mejor visibilidad al analizar la muestra por el microscopio (Figura 1 (b)). Con este método se logra eliminar un porcentaje de resultados falso negativo.

Mediante un sistema de micro-fluidica proponemos mejorar el análisis de las células cervicales en citología líquida, este trabajo se centrará en el diseño de la bomba de infusión tipo jeringa.

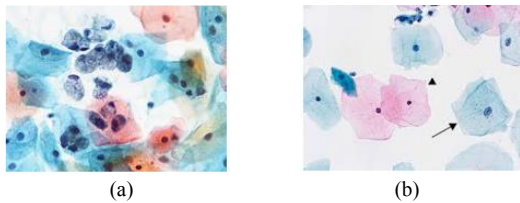


Figura 1: Células cervicales: (a) Muestra de Papanicolaou, (b) Citología Líquida

Se propone como solución el diseño de una bomba de infusión tipo jeringa el cual pretende dar una alternativa y mejorar el análisis de células cervicales, la cual estará proporcionando un flujo determinado de citología líquida a la lámina o dispositivo micro-fluidico.

En los últimos años se ha tenido un importante crecimiento en el desarrollo de métodos en microescala para el análisis, separación y concentración de células intactas.

Los dispositivos micro-fluídicos ofrecen ventajas para el manejo y análisis de células como son portabilidad, rapidez, alta resolución y sensibilidad.

Debido a estas ventajas, significativos esfuerzos a nivel mundial están siendo desarrollados.

Y un primer paso es definir la inyección de este fluido, ya sea mediante bombas peristálticas, de presión o como es nuestro caso bombas de infusión tipo jeringas.

Actualmente existen bombas de infusión de tipo jeringas comerciales, pero no todos los hospitales cuentan con los recursos suficientes para adquirir una. Al diseñar y construir una bomba de infusión de jeringa se pretende copiar las mismas prestaciones que una comercial y reducir los costos de adquisición.

A. Fundamentos para determinar la presión aplicada al embolo de la jeringa.

En [11] definen la presión como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Esto se enuncia por medio de la Ecuación 1.

$$P = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Aplicamos esta ecuación de forma directa solo si la presión es uniforme sobre toda el área de interés.

En [11] mencionan que Blas Pascal, científico francés del siglo XVII, que describió dos principios importantes acerca de la presión:

- La presión actúa de modo uniforme en todas las direcciones de un volumen pequeño de fluido. (Figura 2).
- En un fluido confinado por fronteras sólidas, la presión actúa de manera perpendicular a la pared.



Figura 2: Dirección de la presión del fluido sobre las fronteras.

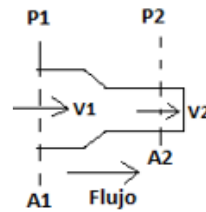


Figura 3: Tasa de flujo

En [12] definen que si se conoce la cantidad de fuerza que se ejerce sobre un área dada, es posible calcular la magnitud de la presión en un fluido, por medio de la ecuación de la presión (Ecuación 1) y la segunda ley de Pascal.

En [12] explican que la velocidad del flujo se determina por medio del siguiente enunciado:

Un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad, tomando en cuenta la Figura 3.

Un fluido circula con un flujo volumétrico constante de la sección A1 a la sección A2, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante y esto se conoce como flujo constante, si entre las secciones A1 y A2 no se agrega fluido ni se almacena o retira, entonces la masa de fluido que circula en A2 en cierta cantidad de tiempo debe ser similar a la que circula por A1. Obteniendo la ecuación de continuidad (Ecuación 2).

$$p1A1v1 = p2A2V 2 \tag{2}$$

Entonces se define que el caudal debe mantenerse constante a lo largo de todo el conducto, cuando la sección disminuye, la velocidad del flujo aumenta en la misma

proporción y viceversa.

Si la fuerza aumenta, manteniendo constante el área sobre la cual se aplica, la presión también aumenta. Asimismo, la presión crece si se mantienen constante la fuerza aplicada y se disminuye el área sobre la que se ejerce la fuerza. De igual manera, la presión decrece ya sea disminuyendo la fuerza aplicada o aumentando el área sobre la cual se aplica la fuerza [12]. En conclusión, se puede variar (aumentar o disminuir) la presión de dos formas: ya sea modificando la fuerza aplicada o variando el área sobre la que dicha fuerza se aplica.

B. Arduino® y motor a pasos.

Arduino® (Genuino a nivel internacional hasta octubre 2016), es una compañía de hardware libre y una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de computadora de desarrollo de hardware y software, compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), en donde se programa cada placa.

Arduino® (Figura 4) se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software, son liberados con licencia de código abierto que permite libertad de acceso a ellos.

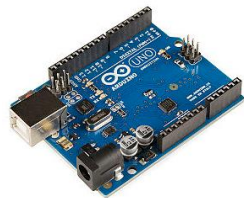


Figura 4: Arduino UNO®

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino UNO R. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con la computadora.

Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se programa mediante un computador, usando una comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial, mediante este tipo de comunicación se realizara la interfaz con Matlab®.

El motor a pasos SY57STH56-2006A, (Figura 5) es un

motor pasos híbrido de alto torque con un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos / revolución). Cada fase se basa 2A a 3.6 V, lo que permite un torque de 9 kg-cm (Tabla 1). El motor a pasos tiene seis cables codificados por colores lo que permite que sea manipulado por controladores de motor a pasos unipolares y bipolares. Cuando se utiliza con un controlador de motor a pasos unipolar se utilizan los seis cables. Cuando se utiliza con un controlador de motor a pasos bipolar, el cable amarillo y blanco se conecta a una bobina, el cable azul y rojo a la otra, dejando el tap central de cada bobina desconectados.

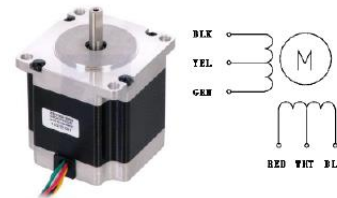


Figura 5: Motor a pasos Pololu SY57STH56-2006ª.

Voltaje	3.6 V
Corriente	2 A por fase
Resolución	1.8° (200 pasos/revolución)
Torque	9 Kg-cm
Características	Nema 23

Tabla 1: Características del motor a pasos

C. Método: Diseño y Fabricación de base mecánica

El sistema desarrollado consiste en un sistema de lazo abierto, en la Figura 6, se muestra la intercomunicación entre la computadora, la interface de control, los dispositivos de control y la bomba de infusión. El funcionamiento consiste en que al manipular la interface de control, el Arduino UNO® ejecutará las instrucciones guardadas en su microcontrolador, el motor a pasos empezará a girar produciendo un movimiento lineal en la base mecánica.

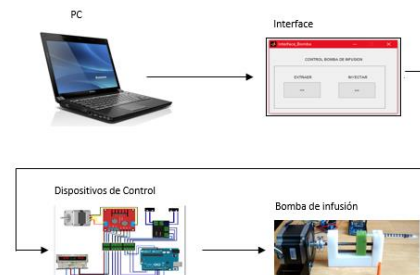


Figura 6: Sistema

El método utilizado para generar la presión requerida para empujar el émbolo de la jeringa basó en los principios descritos en el procedimiento realizado en [13].

Se realizaron experimentos en tres dinamómetros para la obtención de la fuerza requerida para expulsar el líquido contenido en la jeringa.

El experimento consistió en llenar la jeringa con agua hasta 1 ml y 0.1 ml, después se ató el émbolo de la jeringa al gancho del dinamómetro, antes de realizar el empuje del émbolo, se coloca la sonda a la conexión de la aguja y se empuja el dinamómetro hasta que el émbolo inicia un desplazamiento lento a una velocidad constante. (Figura 7).



Figura 7: Método.

Al iniciar y finalizar el desplazamiento del émbolo se toma la lectura de la fuerza necesaria para expulsar el agua contenida en el cilindro de la jeringa.

En los tres dinamómetros se tomaron 10 muestras para cada medida específica: cuando la jeringa este a 1 ml, y a 0.1 ml. La escala de los dinamómetros utilizados fueron: dinamómetro rosa, escala de 0N - 1N. (Figura 8), dinamómetro Azul, escala de 0N - 2.5N. (Figura 9), dinamómetro Metálico, escala de 0N - 4N. (Figura 10).



Figura 8: Dinamómetro rosa.

Lo siguiente fue obtener las medidas de tendencia central, dispersión y los histogramas obtenidos de cada dinamómetro con las jeringas de 1 ml y de 0.1 ml, como en [14] [15].



Figura 9: Dinamómetro azul.

Dinamómetro rosa-Jeringa a 1 ml.- El rango de este dinamómetro es de 0N a 1N, al aplicar fuerza para desplazar el émbolo, se detectó que sobrepasaba el límite máximo del dinamómetro, por lo tanto, se descartó este dinamómetro para esta etapa.

Dinamómetro rosa-Jeringa a 0.1 ml.- Se tomaron 10 muestras, y se obtuvo una moda multimodal ya que se obtuvieron datos con la misma frecuencia entre los valores 0.50 N, 0.54 N y 0.62 N. %.



Figura 10: Dinamómetro metálico.

La figura 11 (a) muestra las fuerzas resultantes con más frecuencia de la jeringa a 1 ml y la figura 11 (b) de la jeringa a 0.1 ml, se resalta que no se presenta histograma del dinamómetro rosa debido a que sobrepasaba el límite máximo de la escala del dinamómetro.

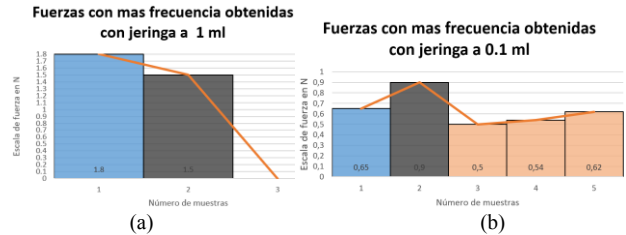


Figura 11: (a) Fuerzas con más frecuencias obtenidas con jeringa a 1 ml, (b) Fuerzas con más frecuencias obtenidas con jeringa a 0.1 ml

Se calculó la fuerza promedio de la jeringa a 1 ml $F=1.65N$ y jeringa a 0.1 ml $F= 0.64N$.

Obtenido lo anterior se calcula el área del cilindro, se aplican las siguientes formulas Área lateral Ecuación 3, Area Base Ecuación 4 y Área Total Ecuación 5:

$$A_L = 2\pi rh \quad (3)$$

$$A_B = \pi r^2 \quad (4)$$

$$A_T = 2A_B + A_L \quad (5)$$

Aplicando la Ecuación 1 se obtiene una presión final para la jeringa a 1 ml de: $p = 0:0021393N$ y una presión final para la jeringa a 0.1 ml de: $p = 0:00082982N$.

Para la velocidad del flujo se utilizó la Ecuación 2, y se define que se necesita una presión no mayor a 1 N, por lo tanto, el torque del motor a pasos debe estar en este valor.

Lo siguiente fue el diseño y fabricación de la base mecánica se elige Nylamid M por ser de grado alimenticio.

Construido el prototipo de la base mecánica se desarrolló el sistema de control electrónico y la interface de control, la figura 12 muestra el diseño final de la interface de control.



Figura 12: Interface desarrollada en MathLab® (The MathWorks, Inc., EUA).

III. RESULTADOS

Se obtuvieron resultados favorables en el sistema de control, la interface de control y la programación realizada

en Arduino® fue satisfactoria, el control creado cumplió con las expectativas deseadas.

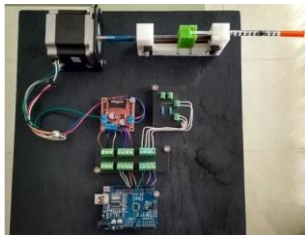


Figura 13: Bomba de infusión tipo jeringa.

La interface de control se enlaza al Arduino UNO® inmediatamente, por lo tanto, la respuesta a la pulsación de los botones es inmediata, el motor a pasos gira a la dirección deseada por el usuario, las interrupciones programadas también se efectúan al instante al ser accionados los limit switch del sistema de seguridad.

La velocidad quedó establecida en 50 RPM debido a que en las pruebas la extracción e inyección de líquido es constante.

En la Figura 13 se muestra el resultado final de la bomba de infusión tipo jeringa.

Se logró fabricar y diseñar una bomba de infusión tipo jeringa con las prestaciones básicas que poseen este tipo de bombas utilizadas en hospitales y laboratorios, la bomba de infusión diseñada permite extraer e inyectar a una velocidad establecida de 50 RPM.

La fuerza requerida para que la bomba de infusión pueda extraer e inyectar es de 1N, la cual se obtuvo utilizando dinamómetros como método experimental.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Se concluye, que la etapa más importante del desarrollo del proyecto fueron las pruebas preliminares de la base mecánica en conjunto con la interface de control, estas pruebas permitieron detectar los errores presentes en la base mecánica, en la programación y en los elementos electrónicos a utilizar durante el proyecto.

Se realizaron las pruebas correspondientes, las cuales consistieron en llenar la jeringa con agua a 1 ml y a 0.1 ml con la finalidad de probar las funciones de inyectar y extraer de la interface de control desarrollada.

El resultado final es presentar todo el sistema en un solo conjunto (Figura 13).

La extracción e inyección de líquido fue realizada con éxito desde las primeras pruebas, esto se debió a la etapa de experimentación con los dinamómetros, la cual nos permitió encontrar la fuerza necesaria para empujar el líquido almacenado en el interior de la jeringa.

La idea del proyecto fue la fabricación de una bomba de infusión tipo jeringa que fuese funcional y accesible para hospitales y laboratorios, por lo tanto, la bomba de infusión tipo jeringa desarrollada cumple con los objetivos establecidos.

V. REFERENCIAS

- [1] Prueba de Papanicolaou. (2018, marzo 19). EcuRed. https://www.ecured.cu/index.php?title=Prueba_de_Papanicolaou&oldid=3093112.
- [2] Escobar Restrepo, J. (2007). Diseño y construcción de un prototipo de una jeringa de infusión para neonatología (Bachelor's thesis, Ingeniería de Diseño de Producto).
- [3] Wijnen, B., Hunt, E. J., Anzalone, G. C., & Pearce, J. M. (2014). Open-source syringe pump library. *PloS one*, 9(9), e107216.
- [4] Saidi, I., Ouni, L. A., & Bebrejeb, M. (2010). Design of an electrical syringe pump using a linear tubular step actuator. *International Journal of Sciences and Techniques of Automatic Control & Computer Engineering*, 1388-1401.
- [5] Appaji, M. S. V., Reddy, G. S., Arunkumar, S., & Venkatesan, M. (2014). An 8051 microcontroller based syringe pump control system for surface micromachining. *Procedia Materials Science*, 5, 1791-1800.
- [6] Pérez, C. (2015). Citología convencional y en base líquida en muestra compartida de tomas cervicouterinas. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 24(1), 42.
- [7] Martínez, S. V. (2005). Citología cervical. *Rev Med Hondur*, 73, 131-136.
- [8] Monroy, S. M. P. BOMBAS DE INFUSIÓN PARA EL CONTROL DEL DOLOR POR CÁNCER. ABD.
- [9] Weiss, M., Hug, M. I., Ne, T., & Fischer, J. (2000). Syringe size and flow rate affect drug delivery from syringe pumps. *Canadian Journal of Anesthesia*, 47(10), 1031-1035.
- [10] Llamosa, L. E., Contreras, L. G. M., & Villarreal, M. F. (2008). Diseño e implementación de procedimientos para la calibración de equipos de infusión. *Scientia et Technica*, 2(39).
- [11] Hayama, F. H., Motta, A. C., Silva, A. D. P. G., & Migliari, D. A. (2005). Preparaciones de base líquida vs. Citología convencional: Adecuación de las muestras y coincidencia de diagnóstico en lesiones orales. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal* (Ed. impresa), 10(2), 115-122.
- [12] Mott, R. L. (2006). *Mecánica de uídos*. Pearson educación.
- [13] Montiel, H. P. (2015). *Física 1 para Bachillerato Tecnológico*. Grupo Editorial Patria.
- [14] Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. (s.f.). *Medidas de tendencia central y dispersión*.
- [15] Marconi, L., & D'Amelio, A., (s.f.). *Medidas de tendencia central y de variabilidad*.

VI. BIOGRAFÍA

E.A. Reyes-González recibió licenciatura en ingeniería electrónica con especialidad en instrumentación y control en 2011, y la especialidad en Mecatrónica en el 2017, del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. Actualmente trabaja en LALA en el área de mantenimiento. Sus intereses de investigación son la instrumentación y la automatización.

Tello-Mijares Santiago. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica en 2006, y el de Doctor en Ciencias Eléctricas en 2013, por parte del Instituto Tecnológico de la Laguna, México. Actualmente está cursando el Doctorado en Telecomunicaciones e Informática por la Universidad Autónoma de Madrid, España; su Tesis Doctoral se encuentra en revisión. En la actualidad es Profesor Titular A e Investigador Científico del Departamento de Postgrado de Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. Es candidato al SIN por parte del CONACYT. Sus intereses de investigación son el procesamiento de imágenes biomédicas y la inteligencia artificial.

J.J. Linares-Aranda recibió su grado de Ingeniero Industrial en Producción del IITL, Torreón Coahuila, México. Actualmente trabaja en la obtención del grado de la maestría en ciencias de Ingeniería Industrial del IITL. Tiene el puesto de profesor investigador titular del departamento de Ingeniería Industrial en el IITSL, Lerdo Durango, México. Ha sido asesor de titulación desde 2002 a la fecha y coordinador interno CACEI. Su interés está en la Manufactura avanzada.

Metodología para el diseño de actividades que potencie la eficiencia de cursos virtuales

E.T. Aguirre.Mejía¹, S.L. Gómez Guerrero², R. Y. Gómez Guerrero³, N. Villegas Alonso⁴

Resumen—El presente trabajo muestra los resultados obtenidos al implementar una Metodología para el diseño de actividades virtuales a partir de la necesidad de divulgar, compartir y socializar la información para mejorar los niveles de aprovechamiento.

Se incluye el diseño, aplicación y requisitos del modelo instruccional para diseñar actividades y generar los contenidos digitales, más un modelo de implementación de la dinámica.

La metodología se aplicó a una muestra de 120 alumnos inscritos en modalidad virtual; los resultados obtenidos mediante la técnica de X^2 muestran un aumento en el 14% sobre alumnos acreditados, una disminución del 16% en el índice de reprobación y un aumento del 32% en la participación general de los alumnos, se infiere entonces, que existe una dependencia y relación positiva entre la variable Metodología para el diseño de actividades sobre los factores reprobación, participación y acreditación.

Palabras claves— acompañamiento virtual, diseño instruccional, docencia virtual

Abstract— This paper shows the results obtained by implementing a methodology for the design of virtual activities from the need to disseminate, share and socialize the information for improve the levels of utilization.

It includes the design, application and requirements of the instructional model to design activities and generate digital content, more a dynamic implementation model.

The Methodology was applied to a sample of 120 students enrolled in virtual modality; the result obtained through the technique of X^2 show an increase of 14% on accredited students; a 16% decrease in the rate of reprobation and an increase of 32% in the general participation of the students; it is then inferred, that there is a dependency and positive relationship between the variable methodology for the design of activities on the factors reproach, participation and accreditation.

Keywords— instructional design, virtual accompaniment, virtual teaching

I. INTRODUCCIÓN

Hemos observado como la era de la información, comunicación y el conocimiento día a día cobran mayor importancia debido a la diseminación de la tecnología y el internet.

La educación superior ha enfrentado grandes desafíos al integrar planes de estudio dirigidos a modalidades virtuales, a distancia o cien por ciento en línea; a la par, se han realizado investigaciones a sobre la eficacia, eficiencia y desarrollo de competencias que permitan validar la calidad educativa en dichas modalidades.

Para [1], la calidad de la enseñanza virtual se logra a través del uso de las herramientas tecnológicas, donde el educando es orientado en la búsqueda, selección, apropiación, análisis y síntesis de la información para cumplir con las asignaciones del curso, y precisamente en estos nuevos contextos es donde se posibilita mejorar la calidad educativa a través de la observación, reflexión, practica y socialización del conocimiento.

Autores como [2]-[9] han realizado investigaciones para indagar el perfil ideal del docente virtual así como las mejores prácticas en estas modalidades.

En estos estudios se analizan las posibilidades de promover y evaluar la enseñanza en ambientes virtuales aplicando principios e instrumentos de enseñanza y evaluación que permitan valorar el desempeño de los facilitadores de cursos virtuales, y saber el impacto que se genera en la enseñanza, la colaboración entre iguales y el propio aprendizaje.

Los investigadores [8]; identificaron que los estudiantes consideran importante la presencia del instructor al momento de compartir conocimientos profesionales, para crear identidad, fomentar creencias, integridad, pensamientos, valores y emociones; es decir, la investigación reflejó que los alumnos necesitan contar con instructores a distancia que proporcionen una presencia personal, describiéndola en términos de ser accesibles, comprensivos, pacientes y apasionados sobre la materia que imparten.

Así mismo, en las investigaciones realizadas por [10]-[11]; se evidencia que las interacciones de los profesores con sus alumnos son importantes y relevantes por el nivel de involucramiento; para [12]-[13] influyen en las actitudes de los alumnos a favor del aprendizaje, propician mayor participación, y aumentan la motivación; y para [14] es el factor que influyen en las tasas de retención y deserción; y

¹ Tecnológico Nacional de México, Av. Universidad 1200, col. Xoco, Cd. de México, Alcaldía de Benito Juárez C.P. 03330, México

eaguirre@itslerdo.edu.mx

en algunos casos la presencia del docente juega un papel importante en la eficacia de la instrucción y la construcción del sentido de pertenencia hacia una comunidad virtual [8], [15].

En la tabla 1 se identifican las características de una educación virtual, así como la identificación de los pilares en que se basa y las funciones que desempeña un docente virtual.

TABLA 1.
PILARES EN QUE SE BASA LA DOCENCIA VIRTUAL.

Ventajas en el proceso de Aprendizaje	Centrado en las necesidades de los alumnos No presencial Acceso a la información de forma atemporal Aprendizaje autorregulado Aprendizaje autónomo Organización gestión y optimización del tiempo Agiliza procesos de gestión y comunicación
Ventajas en el proceso de Enseñanza	Innovación Automatización de procesos Disminución en tiempos de respuesta Aplicación de proyectos de mejora continua [16] Posibilidad de investigación educativa [17]
Pilares que sostiene una educación virtual	Flexibilidad Cooperación Interacción Personalización [18] Objetos Learning Plataforma de gestión de contenidos Modelo instruccional
Funciones de Desempeño Docente	Motivacional, organizacional, intelectual, social, técnica, evaluativa [16] Académica, Social, Organizativa. Orientadora, Técnica [19]

La utilización de modelos instruccionales, plataformas de aprendizaje y personalización del aprendizaje son fundamentales para un desarrollo adecuado de una modalidad virtual.

Es evidente que los instructores a distancia requieran mucho más que dominio de aplicaciones y tecnología; deben ser capaces de comunicarse y comprometerse con los estudiantes usando una variedad de recursos. La presencia de un instructor se proyecta a través del diseño del curso y retroalimentación a los participantes [20].

Por lo anterior, creemos importante integrar a la literatura de la Docencia Virtual, un Modelo para el diseño de actividades virtuales que permita definir estrategias de enseñanza específicas, que integre la forma de compartir experiencias personales, la construcción de relaciones, la correcta, adecuada, oportuna e individualizada retroalimentación, y la organización clara del discurso y perfecto dominio del tiempo.

La metodología para el diseño de actividades incluye tres fases, que le permite a los docentes gestionar contenidos,

utilizando un método y un modelo instruccional para diseño de actividades o materiales digitales y un método para su implementación [20].

Fase Uno. Método para el diseño de Actividades

El método para el diseño de actividades es una propuesta tomada de [20], se integra por tres acciones para la correcta elaboración del material de apoyo y su posterior utilización; la cual promueve aprendizajes significativos debido al estudio detallado de las actividades de enseñanza que implementará el docente en sus clases virtuales.

Acción 1) Elegir el tema, contenido y temática de la actividad a desarrollar.

Acción 2) Selección de material digital que apoye el tema, puede ser material de lectura, de animación, videos e infografías; el docente puede optar por diseñar uno o varios recursos o bien utilizar los recursos digitales de la red, reconociendo los derechos de autor.

Acción 3) Diseño de la actividad la cual debe contener: objetivo de la actividad y propósito, competencias a alcanzar, descripción de la actividad, requerimientos necesarios tanto de software y hardware (si aplica), fechas de realización de la actividad: de inicio, desarrollo y cierre; tipo de participaciones (individuales, colaborativas), ponderaciones y/o evaluaciones (individuales o colaborativas), definir el tipo de la evaluación (formativa o sumativa); diseñar la rúbrica para evaluar las competencias; definir un calendario del desarrollo de la actividad, puesta en marcha; y periodo para obtener resultados y conclusiones.

Fase Dos. Modelo instruccional para el diseño de contenidos digitales.

Es la fase de requisitos necesarios para cada recurso utilizado en un curso virtual:

- 1) Incluir la explicación de uno o varios temas, la solución a un ejercicio o la secuencia de una práctica y ejemplos.
- 2) Momentos de una secuencia de clase: apertura, desarrollo y cierre.
- 3) Los contenidos digitales deben abarcar las siguientes pautas: contenido a digitalizar, tipo de formato a generar, elección de software para la elaboración y creación de los contenidos, que abarca las siguientes dimensiones [21]:

A) dimensión tecnológica: donde se visualizan las características tecnológicas del material como (navegación, multiplataforma, velocidad de carga, interactividad, acceso y visualización de la información, formatos o lenguajes empleados e inclusión).

B) dimensión de diseño: incluye las características: diseño atractivo, facilidad de uso, originalidad, tipografía, botones, estructura clara, accesibilidad, tamaño adecuado de los diferentes elementos; diseño adecuado a las características psicoevolutivas del alumnado destinatario; diseño adecuado de la comprensión de los contenidos y colorimetría.

C) *dimensión pedagógica*: define las características didácticas que deben destacar del material, como (tipos y secuencia de actividades propuestas, organización del contenido, desarrollo de las competencias, estrategia metodológica (expositiva, de recepción guiada, por proyectos, por tareas y actividades), explicitación de objetivos de aprendizaje, ritmos de aprendizaje y aprendizaje individual, colaborativo o en grupo. Se apropia el conocimiento por descubrimiento, iniciación, consolidación, aplicación, síntesis, refuerzo, ampliación, profundización de investigación, creación o motivación.

D) *dimensión de contenido*: el contenido del material digital debe elegirse en función de los intereses del alumnado, facilitar el conocimiento de la diversidad socio-cultural, favorecer el tratamiento diferenciado en función del contexto social, cultural y ambiental de aplicación, orientado a características de los potenciales destinatarios, reflejar la diversidad funcional, de género, sexual y cultural; acorde a demandas curriculares y organizado en forma secuencial separado por áreas temáticas,.

Fase Tres. Modelo para la implementación de la dinámica. Abarca:

- a) diseño de la dinámica, incluye: definir un calendario de implementación con la apertura o arranque de la actividad.
- b) periodo de realización de la actividad, incluye la fecha de cierre, momentos y tipos de intervención del docente.
- c) presentación de la actividad para los alumnos, para darles a conocer la dinámica de la actividad.
- d) forma de participación.
- e) forma de evaluación o evaluaciones.
- f) configurar la actividad en plataforma de aprendizaje, con los materiales digitales elaborados y por último se realiza la dinámica con los alumnos.

II. METODOLOGÍA

Se implementó la metodología para diseño de actividades virtuales a un grupo de 120 alumnos en una materia virtual de un total de 4 unidades de estudio, durante un ciclo escolar con duración de 8 semanas.

Se desarrolló una investigación cuantitativa, con una muestra no paramétrica; utilizando la técnica de Chi cuadrado (X^2) para determinar la relación de dependencia o independencia entre variables cuantitativas: la metodología para el diseño de actividades virtuales, y la relación con los aprendizajes, aprobación del curso, deserción, y participación.

Los datos se recolectaron mediante registros calendarizados en cada unidad temática, con un total de 20 registros, que incluyen lectura de datos de cada unidad temática por partes iguales, se consideró la mitad de las

unidades para la aplicación de la metodología, y la otra mitad como medio de control.

Hipótesis

Para formular las hipótesis de esta investigación, se definieron las variables involucradas en el estudio:

X = Metodología para el diseño de actividades virtuales

A = Acreditación

B = Reprobación

C = Participación

Las hipótesis de estudio son:

H_1 = X tiene relación positiva con A

H_2 = X decrementa B

H_3 = X incrementa C

Y la hipótesis nula como:

H_0 = La aplicación de X es independiente de los resultados observados de A, B, y C.

III. RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el total de registros obtenidos durante las 8 semanas de estudio.

En la tabla 3 se clasifican los resultados en unidades con aplicación de la metodología y sin la aplicación de la metodología, también se muestran los totales marginales, para poder determinar el valor observable.

En la tabla 4 se obtienen los valores esperados para calcular X^2 y evaluar la dependencia entre las variables.

TABLA 2.
REGISTROS POR UNIDAD TEMÁTICA

Estatus de alumno	U1	U2	U3	U4
Alumnos activos	87	87	87	87
Alumnos acreditados	29	38	20	12
Alumnos sin actividad	58	21	17	17
Alumnos reprobados	0	0	0	2
Alumnos dados de baja	33	33	33	33
Total de alumnos	120	120	120	120

TABLA 3.
TABLA DE ORGANIZACIÓN DE DATOS POR APLICACIÓN DE METODOLOGÍA.

Estatus	con metodología	sin metodología	Total marginal
alumnos acreditados	102	76	178
alumnos reprobados	72	98	170
alumnos sin actividad	38	75	113
Total marginal	212	249	461

TABLA 4.
TABLA DE VALORES EXPERIMENTALES.

Estatus	con metodología	sin metodología
alumnos acreditados	81.86	96.14
alumnos reprobados	78.18	91.82
alumnos sin actividad	51.97	61.03

Se obtiene el valor de X^2 a partir de los datos observables y los datos experimentales, obteniendo el resultado para $X^2 = 0.00020051$

Se analizan los datos en la tabla 5 para Chi cuadrada, que de acuerdo con los grados de libertad (para este ejemplo es = 2), se asume un riesgo de margen de error del 0.05%.

El valor de P para un margen de error del 0.05% en valores de la tabla 5 corresponde a:

TABLA 5
VALORES ESTANDARIZADOS DE CHI CUADRADA

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915

Al comparar nuestro valor experimental de $X^2 = 0.0002$, observamos que es menor al obtenido de la tabla 5 de Chi cuadrada = 5.99.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, con lo cual se determina que las variables analizadas tienen relación entre sí.

Así mismo, con los datos observables se obtuvo la gráfica 1, donde se puede apreciar la variación en la acreditación, reprobación y participación, de las unidades de estudio con y sin la aplicación de la metodología.

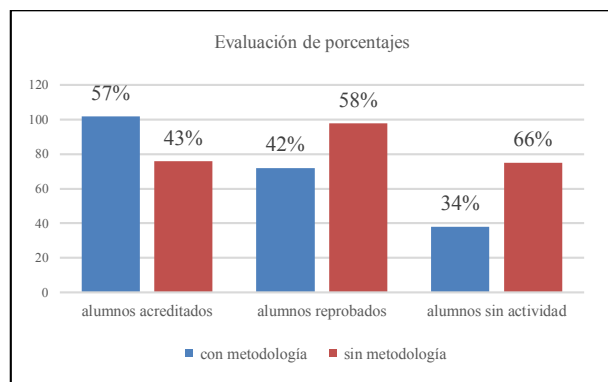


Gráfico 1. Evaluación de la metodología

IV. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis de los resultados, se evidencia que la aplicación de la metodología para el diseño de actividades virtuales muestra un aumento del 14% en alumnos acreditados, una disminución del 16% en el índice de reprobación y un aumento del 32% en la participación general de los alumnos; se infiere que existe una

dependencia y relación positiva entre las variables Metodología para el diseño de actividades virtuales con el índice de reprobación, participación y acreditación.

Recomendamos implementar la metodología para el diseño de actividades virtuales; la cual requiere de capacitación constante del docente virtual; así mismo, se sugiere la creación individual de un PLE (Personal Learning Environment) para la creación y aplicación de las actividades virtuales, tomado en cuenta las últimas tendencias en aplicaciones web, para escritorio y celular, la combinación de dichas aplicaciones con una metodología definida, ofrecen excelente resultados en los cursos virtuales.

V. REFERENCIAS

- [1] García-Cabrero, B., y Pineda-Ortega, V. (2011). Evaluar la docencia en línea: retos y complejidades. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia RIED, 4(2), 63- 76. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3314/331427215004.pdf>
- [2] Muñoz, P. C., González, M., and Hernández, N. (2013). Pedagogical roles and competencies of university teachers practicing in the e-learning environment. The International Review of Research in Open and Distance Learning, 14(3). Recuperado de <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/rt/printerFriendly/1477/2586>
- [3] Corry, M., Ianacone, R., and Stella, J. (2014). Understanding Online Teacher Best Practices: a thematic analysis to improve learning. E-Learning and Digital Media, 11(6), 593-607. doi: <https://doi.org/10.2304/elea.2014.11.6.593>
- [4] García Aretilo, L. (2014). Bases, mediaciones y futuro de la educación a distancia en la sociedad digital. España: Síntesis
- [5] Houtma, E., Makos, A., and Heather-Lynne, M. (2014). The Intersection of Social Presence and Impression Management in Online Learning Environments. E-Learning a Digital Media, 11(4), 419-430. doi: <https://doi.org/10.2304/elea.2014.11.4.419>
- [6] Kontos, G. (2015). Practical Teaching Aids for Online Classes. Journal of Educational Technology Systems, 44(1), 36-52. doi: <https://doi.org/10.1177/0047239515598518>
- [7] Moreno, O. (2015). Evaluación de la modalidad de interacción de la tutorial y efectos en el logro académico en entornos en línea. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia RIED, 18(1), 231- 255. Recuperado de http://ried.utpl.edu.ec/sites/default/files/files/pdf/v%2018-1/art11_evaluacmod.pdf
- [8] Alamri, A., y Tyler-Wood, T. (2017). Factors Affecting Learners With Disabilities- Instructor Interaction in Online Learning. Journal of Special Education Tecnology, 32(2), 59-69. doi: <https://doi.org/10.1177/0162643416681497>
- [9] Turula, A. (2017). Teaching presence in telecollaboration. Keeping an open mind. System, 64, 21-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.system.2016.12.001>
- [10] Akyol, Z., Y Garrison, D. (2011). Understanding cognitive presence in an online and blended community of inquiry: assessing outcomes and processes for deep approaches to learning. British Journal of Educational Technology, 42 (2), 233-250
- [11] Reupert, A., y Maybery, D. (2009). The importance of being human: Instructor's personal presence in distance programs. International Journal of Teaching and Learning in Higher Education, 21(1), 47-56. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/288960342>
- [12] Wong, L., y Fong, M. (2014). Student attitudes to traditional and online methods of delivery. Journal of Information Technology Education: Research, 13, 1-13. Recuperado de <http://www.jite.org/documents/Vol13/JITEv13ResearchP001-013Wong0515.pdf>

- [13] WooRi, K. (2015). Learning flow, motivation and community of inquiry in an online graduate degree program. Diss. Purdue University. Recuperado de http://gateway.proquest.com/openurl?url_ver=Z39.88-2004&res_dat=xri:pqdiss&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation&rft_dat=xri:pqdiss:3736267
- [14] Reio, T. G., y Crim, S. J. (2013). Social presence and student satisfaction as predictors of online enrollment intent. *American Journal of Distance Education*, 27(2), 122-133. doi: <https://doi.org/10.1080/08923647.2013.775801>
- [15] Chieu, V., y Herbst, P. (2016). A study of the quality of interaction among participants in online animation-based conversations about mathematics teaching. *Teaching and Teacher Education*, 57, 139-149. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tate.2016.03.010>
- [16] Acevedo, G., y Plascencia, A. (2010). Función del Docente en Línea. *Revista Científica de La Fundación Iberoamericana Para La Excelencia Educativa*, 5-14. Retrieved from <http://hekademus.calidadpp.com/numeros/14/14.pdf#page=2>
- [17] Marqués Graells, P. (2004). Los docentes: funciones, roles, competencias necesarias, formación. *Departamento de Pedagogía Aplicada. Facultad de Educación. UAB*, 2, 1-19. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [18] Sangrá, A. (2001). Enseñar y aprender en la virtualidad. *Educación*, 117-131. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5565/rev/educar.394>
- [19] Hernández, P. (2015). Funciones de la tutoría virtual. Colombia.
- [20] Aguirre, E., Ramírez, F., Parada, L., Gómez, R., Cervantes, M., y Vázquez, M. (2018). Metodología Híbrida para redes sociales en la Educación. *Academia Journals*, 10(3), 78-83. <https://doi.org/1946-5351>
- [21] Cepeda, O., Gallardo, I. M., & Rodríguez, J. (2017). La evaluación de los materiales didácticos / The evaluation of digital didactic materials. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa - RELATEC*, 16(2), 79-95. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.16.2.79>

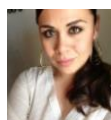
VI. BIOGRAFÍA



Aguirre Mejía Elena Tzetzangary es originaria del estado de Guerrero y nació el 14 de julio del 1974. Realizó estudios profesionales en el instituto Tecnológico de Iguala Guerrero, México, en el año 2008 obtuvo el grado de Licenciatura en Informática; posee el grado de Máster en Educación por el Instituto de Estudios Universitarios del Estado de Puebla, México en el año 2014; es candidato a Doctor en Tecnología Educativa por el Centro de Estudios Mar de Cortés, del estado de Sinaloa, México.

Actualmente labora para el Tecnológico Nacional de México con sede de la ciudad de Lerdo, Durango, en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, como docente presencial y virtual; ha colaborado para la Universidad Abierta y a Distancia de México como facilitador virtual; para el Tecnológico de la Laguna como docente virtual; y para el Sistema de Prepa en Línea SEP como facilitador virtual. Se interesa y desarrolla investigaciones en temas relacionados con; Tecnología Educativa, Docencia Virtual; Calidad Educativa y Proyectos educativos virtuales.

La M. E. Aguirre pertenece a la Red de Educadores de América Latina y el Caribe RedDOLAC desde el año 2018; ha participado como ponente en congresos internacionales, ha publicado artículos científicos y funge como capacitador docente y empresarial.



Gómez Guerrero Sandra Luz es originaria del Torreón Coahuila, México realizó estudios de Licenciatura en Administración de empresas, en el instituto Tecnológico de la Laguna, cuenta con estudios de Maestría en Sistemas de Gestión de Calidad y actualmente cursa el Doctorado en Administración de negocios.

Actualmente labora para el sector microfinanzas y cuenta con 11 años de experiencia en diferentes ramos empresariales como: restaurantero, automotriz, e industrial, además es docentes virtuales para el Instituto Tecnológico de la Laguna en el área de Ingeniería Industrial.

Gómez Guerrero Rocío Yadira es originaria del Torreón Coahuila, México realizó estudios de Ingeniería industrial en el instituto Tecnológico de la Laguna, en la ciudad de Torreón Coahuila, México, cuenta con estudios de Maestría en Sistemas de Gestión de Calidad y actualmente cursa el Doctorado en Administración de negocios.



Actualmente labora para el Instituto Tecnológico de la Laguna como docente de tiempo completo y tiene a cargo la jefatura de la carrera de Ingeniería industrial de la modalidad presencial y virtual, cuenta con 16 años de experiencia en cargos administrativos y directivos para el sector educativo, fue coparticipante en la acreditación de la modalidad virtual de la carrera de ingeniería virtual y durante su función como jefe ha sido galardonada con la acreditación de la carrera de ingeniería industrial del Instituto Tecnológico de la Laguna.



Villegas Alonso Nidia nació en Torreón, Coahuila, el de Febrero del 1978. Tiene la Maestría en Sistemas de Calidad 2017, en el Instituto Internacional de Administración Estratégica, en Torreón, Coahuila, México y la Licenciatura en Ingeniería Industrial en diciembre 2000 en el instituto Tecnológico de la Laguna, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

Ella actualmente labora en la coordinación de capacitación docente para el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de la Laguna, labró como supervisor de proyectos para las empresas Rosmar y Massau; como auxiliar de registro y control, para la empresa Peñoles; y como coordinador y supervisor de producción para las empresas Grupo Libra S.A. de C. V. y Tyson de México respectivamente.

Implementación del Modelo integral de acompañamiento virtual (MiaV) para la eficiencia de procesos de enseñanza

E.T. Aguirre.Mejía¹, F.J. Ramírez-Sandoval², L. Parada-Morado³

Resumen—El presente trabajo tiene como finalidad fortalecer la educación virtual mediante la implementación de un Modelo integral de acompañamiento para la modalidad virtual (MiaV). La metodología surge a partir la necesidad de atención y acompañamiento del alumnado virtual y de los altos índices de deserción y abandono. El MiaV se dio a conocer como parte de la capacitación a 13 docentes virtuales con el fin de implementarla en sus cursos virtuales durante un ciclo escolar, se presenta una esquematización para la implementación de la metodología, que pretende incidir en el aumento de participaciones y eficiencia terminal; así como el análisis de los resultados obtenidos de los cursos.

Palabras claves— acompañamiento virtual, diseño instruccional, docencia virtual

Abstract—The purpose of this paper is to strengthen virtual education through the implementation of an integral model of accompaniment for the virtual modality (MiaV). The methodology arises from the need of attention and accompaniment of the virtual students and of high dropout and dropout rates. The MiaV was unveiled as part of the training of 13 virtual teachers in order to implement it in their virtual courses during a school year, an outlining is presented for the implementation of the methodology, which aims to influence the increase of participations and terminal efficiency; as well as the analysis of the results obtained from the courses.

Keywords— instructional design, virtual accompaniment, virtual teaching

I. INTRODUCCIÓN

Las instituciones públicas o privadas responsables de formar profesionistas ofrecen planes y programas orientados a la modalidad virtual, dando respuesta a las exigencias de la era del conocimiento, la diseminación del internet, la globalización de la información y la era del conocimiento.

Las instituciones universitarias deben apostar por la formación permanente de su profesorado desde una perspectiva crítico pedagógica (Bautista, Borges, y Forés, 2007) considerando en su formación el uso e implementación de las nuevas tecnologías, métodos

innovadores de enseñanza-aprendizaje y metodologías como parte de un acompañamiento virtual.

Se han detectado problemáticas que involucran al docente virtual, quedando de manifiesto que debe dominar los contenidos y técnicas de enseñanza; diseñar dinámicas innovadoras y emular entornos para la virtualidad; manejar a nivel experto y desarrollar capacidad de innovar constantemente (Rodríguez & Provencio, 2010).

Es claro que para desempeñar labores de docencia virtual no solo se requiere de competencias profesionales requisito de un docente virtual, se requiere de experticia en el manejo de tecnología, ambientes virtuales, manejo y diseño de contenidos, manejo y uso de medios de comunicación, crear y diseñar espacios virtuales de aprendizaje individual y colaborativos, innovar en el desarrollo de contenidos visuales y habilidad para generar estrategias de retención y motivación (Aguirre, Parada, Gómez, Ramírez, & Taboada, 2018).

La responsabilidad del docente virtual es dar respuesta a las necesidades y exigencia de la formación de sus estudiantes; planificar y evaluar cursos virtuales cuyo enfoque pedagógico de como resultado la acreditación de competencias (Quechol y Minero, 2018).

Hoy sabemos que la función docente ha evolucionado de la mano de la tecnología, ha posibilitado la integración e innovación en nuevos entornos de aprendizaje, se han dinamizado los procesos cognitivos y se han creado estrategias innovadoras que permitan potenciar las capacidades y habilidades de los alumnos (Aguirre, Ramírez, et al., 2018).

Por lo anterior, es claro que las capacidades, conocimientos, habilidades, actitudes y valores que todo docente en línea debe: tener, mantener, practicar, actualizar y mejorar; permitirán mejorar su desempeño en entornos virtuales, acorde a las necesidades institucionales y de sus alumnos (Amador y Espinoza, 2017).

Para Sotelo, Vales, García, y Barrera (2017) el acompañamiento educativo motivacional es detonante para potenciar aprendizajes, mantener el dinamismo en el trabajo, disminuir índices de reprobación, ausentismo y deserción; y es fundamental para éxito de dicha modalidad; sin embargo, hoy en día no existe un modelo exitoso que permita mejorar los resultados de modalidades en línea (Aguirre, Parada, et al., 2018).

¹ Tecnológico Nacional de México, Av. Universidad 1200, col. Xoco, Cd. de México, Alcaldía de Benito Juárez C.P. 03330, México

eaguirre@itslerdo.edu.mx

Cuando un docente virtual está presente en todo momento, el alumno percibe un acompañamiento y cercanía continua; lo que contribuye a lograr experiencias positivas y mejorar la calidad de los aprendizajes adquiridos (Cabero y Marín, 2017).

Para los autores (García-Cabrero et al., 2018) un entorno en línea refleja mejores resultados cuando el docente se relaciona en todo momento con sus alumnos.

Así mismo, resultados mostrados en la investigación de (Sotelo et al., 2017) definen los rasgos de un buen profesor virtual, a partir de un análisis semántico de un test a estudiantes; donde el 100% de los participantes coincidieron en la palabra comprometido como la principal definidora de un buen profesor en ambientes virtuales, seguida por accesible (96%), disponibilidad (66%), atento (59%), comunicación (39%) y amable (36%).

Por lo anterior, es necesario formar los perfiles profesionales con las características, habilidades y competencias que den respuesta a todas las necesidades requeridas para una educación virtual de calidad.

II. METODOLOGÍA

A) MODELO INTEGRAL DE ACOMPAÑAMIENTO VIRTUAL (MIAV)

El Modelo Integral de Acompañamiento Virtual (MiaV) es una propuesta de los autores (Aguirre, Parada, et al., 2018), donde definen los saberes necesarios para desempeñar una docencia virtual de calidad, ver figura 1; dicha metodología coadyuva a las instituciones a mejorar sus resultados en aprovechamiento y eficiencia terminal; refleja la importancia sobre la correcta selección y capacitación docente y está dirigida a facilitadores y capacitadores o instituciones que pretenden vincularse por primera vez a la modalidad virtual.



La metodología incluye la totalidad de los conocimientos, destrezas, habilidades y responsabilidades que debe poseer un docente virtual para desempeñar su labor adecuadamente, en la figura 1, se muestra una numeración, que es el grado de importancia que representa cada rubro para la modalidad en línea, es decir, el grado de acumulación de conocimientos que abarca cada área.

El docente en primer lugar debe dominar su área de especialidad; después aplicar, diseñar o en su caso innovar modelos de pedagogía y didáctica para modalidades en línea, posteriormente debe aplicar las pautas del acompañamiento virtual, y por último manejo de aplicaciones y diseños instruccionales.

En la figura 1, las letras representan el nivel de experticia que se requiere (B) nivel básico, (M) nivel medio, (E) nivel de experto.

El MiaV se basa en diseñar momentos clave donde se precisa la motivación, asesoría y orientación oportuna por parte del docente virtual.

Si partimos del siguiente hecho: que la disposición de un estudiante para aprender es mayor cuando está motivado (Pérez, 2018); entonces se requiere que el docente implemente distintos niveles de motivación en los alumnos desde el principio del curso (Villafaña y Solache, 2017). Es claro que la intervención pedagógica desempeña un papel primordial para suscitar y mantener la motivación de los participantes de un curso virtual (Inciarte, 2008). Si bien la calidad del material didáctico, el diseño instruccional, diseño de actividades y procedimientos de orientación, guía o retroalimentación, son claves para garantizar la motivación de los estudiantes (Nemiña, Ruso, y Mesa, 2009), es preciso establecer un Modelo integral de acompañamiento para las modalidades virtuales, que permitan potencializar los aprendizajes e incrementar niveles de eficiencia (Aguirre, Parada, et al., 2018).

B) MOMENTOS DE LA ASESORÍA EN LÍNEA

Si la figura del docente es mediadora del aprendizaje, su rol se verá modulado por la existencia de otros elementos también mediadores del aprendizaje, por el mismo entorno en el que el aprendizaje se lleva a cabo y por las características de los contenidos y procesos que se pretenden desarrollar (Tenti, 2007). Así en la educación a distancia un elemento indispensable es la asesoría (acompañamiento), que se deriva de las responsabilidades del docente, la asesoría como parte de la retroalimentación virtual debe ser:

Constante: durante todo el proceso de aprendizaje

Pertinente: de acuerdo con las necesidades y capacidades de los alumnos

Cordial: en un sentido de empatía y asertividad

Eficaz: para reorientar los conocimientos y alcanzar las competencias

Acorde: a los diferentes momentos y situaciones de la asesoría.

C) MOMENTOS DE ASESORÍA PARA MODALIDADES EN LÍNEA.

Inicio. Donde la asesoría debe realizarse desde el inicio del curso escolar y en algunas ocasiones antes de iniciar el curso virtual, como por ejemplo para: dar a conocer la a los alumnos la liga de acceso al curso, enviar datos importantes como: fecha de inicio, duración, tiempo de dedicación, presentación del docente, presentación del curso, bienvenida al nuevo ciclo escolar y al curso.

Iniciado el curso dentro de plataforma es necesario establecer: método de estudio, porcentajes de evaluación, dar a conocer el temario completo de la materia o curso, dar a conocer las competencias generales de la materia, dar a conocer las competencias previas de la materia, calendario general de la materia, toda la información debe estar visible en la plataforma de gestión de contenidos; el docente debe utilizar medios internos y externos para comunicarse de manera personal y masiva, también, puede compartir y publicar la información en sus redes sociales, blog personal, página web, etc.

Seguimiento. Iniciado el curso con reglas establecidas, es necesario el docente lleve un control sobre el seguimiento a cada alumno. El seguimiento le permitirá al docente conocer: el último acceso a la plataforma de cada alumno, el número de participaciones en cada actividad, el número de tareas entregadas y calificadas, la interacción entre alumnos. Las actividades que el docente puede realizar como parte del seguimiento son: mensajes por semana sobre actividades a entregar, mensajes personales por ausencia de actividad en plataforma, correos electrónicos con estatus de situación académica, compartir información (recursos) para la realización de tareas. *El seguimiento individual es de vital importancia para la acreditación del curso, es necesario el docente establezca una estrategia para llevarla a cabo y debe verse reflejada su efectividad a lo largo del curso.*

Retroalimentación. Una retroalimentación es la observación que realiza el docente como parte de la revisión inicial de una tarea, permite al alumno saber las debilidades y desempeño, el docente debe explicar cómo alcanzar y superar dichas deficiencias y así cumplir con la competencia requerida. Con cada entrega o participación el alumno *debe* obtener una retroalimentación pertinente, asertiva, cordial y motivadora, y si la actividad o participación fue realizada con excelencia desde el primer intento, también el alumno “debe” recibir retroalimentación pertinente, ya que ha alcanzado la competencia requerida y logrado los objetivos planteados.

Cierre. Al finalizar el curso, cuando el alumno haya concluido la entrega de sus actividades, es necesario que el docente haga un contacto final más, para compartir la calificación final obtenida vía correo electrónico de manera

personalizada, también se puede establecer un periodo para aclaración de calificaciones, de lo contrario, indicarles devolver el correo de enterado y de haber aceptado dicha calificación. Una vez realizada la entrega de calificaciones, es posible que el docente envíe un correo personal más, para incentivar la continuidad de estudios y reconocer los logros obtenidos, así mismo realizar el cierre del ciclo escolar y asesoría virtual

D) IMPLEMENTACIÓN DE MODELO INTEGRAL DE ACOMPAÑAMIENTO VIRTUAL (MIAV)

El Modelo se dio a conocer a los docentes virtuales durante un periodo de capacitación intersemestral, para lo cual se diseñó un cronograma de actividades, que incluye los cuatro momentos del acompañamiento donde, para cada momento, se definen los objetivos y las actividades que a realizar. Para el diseño se tomó como muestra un curso virtual con duración de 8 semanas.

La tabla 1 se muestra los objetivos generales del momento de inicio, seguimiento, retroalimentación y cierre, determinado por acciones, estableciendo fechas clave para implementarlas.

En la tabla 1 se definen las actividades académicas que corresponden al momento de inicio en el MiaV; se recomienda que en cada foro o actividad colaborativa se lleven a cabo estas acciones. Se muestran las actividades que el docente llevará a cabo para dar a conocer la planeación de actividades como parte del momento de inicio, con el objetivo de administrar el tiempo. Es posible que con cada inicio de unidad temática o de semana de estudio se repitan dichas acciones.

Se incluye una muestra de las actividades de apertura y participación adecuada para los foros. Estas actividades forman parte de los momentos de inicio, seguimiento y retroalimentación, dicha actividad, puede repetirse para que cada tarea que deba realizar el alumno; la importancia radica en que, a mayor conocimiento sobre el desarrollo de una actividad, menor será el grado de incertidumbre, generará climas de confianza, y mayor participación.

Así mismo, se muestran las acciones para crear climas de confianza y participación colaborativa, y las actividades de seguimiento y retroalimentación durante el curso, esta actividad es repetitiva a lo largo del curso para todas y cada una de las tareas o acciones que realizan los alumnos.

Tabla 1.
Objetivos y actividades del MiaV.

METAS	ACTIVIDADES	CICLO ESCOLAR SEMANAS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Confianza en el docente	Desarrollo de presentación amigable, en formatos digitales								
Conocimiento y confianza entre el grupo	Desarrollo de estrategia para conocer a sus compañeros. Modificar su perfil								
Apertura de la materia y unidades	Dar a conocer la introducción de la materia.								
Administración del tiempo	Desarrollar un calendario por unidad para entrega de actividades prorrateada								
Lineamientos de participación en foros	Formato de lineamientos para participación en foros								
Lineamientos para entrega de tareas	Formatos de lineamiento para entrega de tareas								
Aplicación de estrategias motivacionales	Diseño de estrategias Motivacionales calendarizadas, considerar todos los aspectos posibles								

E) DISEÑO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

La investigación realizada es del tipo cuantitativo, con una muestra no paramétrica, representada por 13 docentes y una distribución total de 81 materias para su estudio, de las cuales, al 50% se implementó el tratamiento con la metodología y el resto se registró como muestras de control.

La tabla 2, muestra la representación de materias por semestre.

Tabla 2.
Distribución total de la muestra por semestre.

Semestre	Con aplicación del MiaV	Sin aplicación del MiaV	Total de materias estudiadas por semestre
1	6	6	12
2	7	7	14
3	7	7	14
4	7	7	14
5	7	7	14
6	7	7	14
	41	41	82

Se generaron registros por unidades temáticas; al finalizar el semestre los docentes reportaron los porcentajes obtenidos en los factores: participación y aprovechamiento.

La tabla 3 muestra los resultados en ambos ciclos por semestre y por tipo de tratamiento.

Tabla 3.
Porcentajes de participación y aprovechamiento

Semestre	Aplicación del MiaV	Sin aplicación del MiaV
	participación	aprovechamiento
1	56%	37%
2	63%	47%
3	81%	62%
4	79%	68%
5	78%	77%
6	87%	80%

Con los valores observados se puede inferir que con la aplicación de la metodología se obtienen resultados positivos en los cursos virtuales, sin embargo, es necesario corroborar dichos datos con una prueba estadística.

Se utilizó la prueba estadística de chi cuadrada para determinar si existe relación entre la aplicación de la metodología y los resultados obtenidos en aprovechamiento y participación.

a) Hipótesis

H₀ = La implementación de MiaV es independiente de los porcentajes obtenidos en acreditación y participación del alumnado.

H₁= La implementación del MiaV tiene relación positiva con los índices de participación y aprovechamiento.

III. RESULTADOS

Se realizó un análisis de resultados obteniendo los siguientes valores:

Valor experimental para $X^2 = 0.9602$

Valor de X^2 en tablas estandarizadas = **11.0705**

con un error esperado del 0.05 %

Siendo el valor experimental menor que el estandarizado, por lo tanto, rechazar H_0 y aceptar la hipótesis H_1 .

Se concluye que aplicar la Metodología para el acompañamiento integral de la modalidad virtual refleja una relación positiva con los índices de participación y aprovechamiento.

El acompañamiento integral logra por sí mismo crear un ambiente de confianza y colaboración continua; permite a los docentes identificar áreas de oportunidad y aplicar la mejora continua al analizar cuales medios o materiales no son suficientes o requieren actualización, de tal forma que se pueda identificar y alinear a las necesidades y características de los alumnos.

El MiaV propone un desarrollo de actividades previamente agendadas de presentación, seguimiento, retroalimentación y cierre, mismas que permiten estar en constante comunicación con el alumno.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Si bien el modelo MiaV arroja resultados positivos y alentadores, debemos recomendar que el éxito del modelo radica principalmente en la disposición del docente para implementarlo a 100%; requiere del dominio, experiencia y habilidad para manejo de situaciones, así como el control y medición de resultados.

La constancia permite desarrollar la labor de forma intuitiva; se muestra la agenda en forma calendario de actividades, la cual requiere habilidad para observar, intuir y determinar los momentos adecuados sugeridos por el MiaV (Aguirre, Parada, et al., 2018).

El MiaV es una propuesta para a aquellos docentes que inician labores en modalidad virtual, y para que los coordinadores y jefes académicos orienten a los asesores virtuales, sobre las responsabilidades, actividades y desempeño necesario de aquellos actores proveedores de una enseñanza virtual de calidad.

V. AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo del estudio fue necesario la colaboración con docentes virtuales de nivel Universitario, los cuales apoyaron en la obtención de registros de todas las muestras. Se agradece la participación en el estudio de las Maestras: Rocío Yadira Gómez Guerrero; Rosario Mayorga; Sandra Gómez, Claudia Pérez Ascencio; y a los Maestros: Roberto Peña, Jorge Lara; Eduardo Ramírez; Juan Pablo Alemán.

VI. REFERENCIAS

- [1] Bautista, G., Borges, F., y Forés, A. (2007). Didáctica universitaria en entornos virtuales de enseñanza- aprendizaje. *RIED*, 10(2), 231–239.
- [2] Rodríguez, M., y Provencio, H. (2010). Metodología didáctica en aulas y tiempos virtuales: el acompañamiento docente en acciones formativas b-learning. *VII JORNADAS DE REDES DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA*, 1–5.
- [3] Aguirre, E., Ramírez, F., Parada, L., Gómez, R., Cervantes, M., y Vázquez, M. (2018). Metodología Híbrida para redes sociales en la Educación. *Academia Journals*, 10(3), 78–83. <https://doi.org/1946-5351>
- [4] Quechol, D., y Minero, M. (2018). El desarrollo de la planeación educativa basada en el enfoque por competencias en la formación docente. *Congreso Internacional de Educación: Debates En Evaluación y Currículum*, 3(3), 11. <https://doi.org/2448-6574>
- [5] Amador, G., y Espinoza, J. (2017). Formación de docentes para la creación de cursos virtuales en la enseñanza del español como segunda lengua. *Revista Comunicación*, 26(1), 42–56.
- [6] Sotelo, M., Vales, J., García, R., y Barrera, L. (2017). Características del Buen Profesor de Modalidad Presencial y Virtual desde la Perspectiva de los Estudiantes. *European Scientific Journal*, 13(13), 78–89. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n13p78>
- [7] Cabero, J., y Marín, V. (2017). La educación formal de los formadores de la era digital los educadores del siglo XXI. *Notandum*, 29–42. <https://doi.org/10.4025/notandum.44.4>
- [8] García-Cabrero, B., Serrano, E., Ponce, S., Cisneros-Cohernour, E., Cordero, G., Espinoza, Y., y García, M. (2018). Las competencias docentes en entornos virtuales: un modelo para su evaluación. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(1), 343–365. <https://doi.org/10.5944/ried.21.1.18816>
- [9] Pérez, J. (2018). Acercamiento al desarrollo de la educación a distancia. *Revista Vinculando*.
- [10] Villafaña, L. L., y Solache, A. B. (2017). La deserción en Estudiantes de Educación Superior: Tres Percepciones en estudio, Alumnos, Docentes y Padres de Familia. *Pistas Educativas*, 39(126), 143–159. Tomado de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/776/849>
- [11] Inciarte, M. (2008). Teacher competences in the presence of virtual higher education. *Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 9(2), 19–38. Retrieved from <http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/843/2069>
- [12] Nemiña, R. E., Ruso, H. M. G., y Mesa, L. M. (2009). Desarrollo profesional y profesionalización docente. Perspectivas y problemas. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación Del Profesorado*, 13(2), 1–13. Retrieved from <http://recyt.fecyt.es/index.php/profesorado/article/view/42344/24284>
- [13] Tenti, E. (2007). Consideraciones sociológicas sobre la profesionalización docentes. *Educação & Sociedade ISSN*, 28(99), 335–353.

VII. BIOGRAFÍA



Aguirre Mejía Elena Tzetzángary es originaria del estado de Guerrero y nació el 14 de julio del 1974. Realizó estudios profesionales en el instituto Tecnológico de Iguala Guerrero, México, en el año 2008 obtuvo el grado de Licenciatura en Informática; posee el grado de Máster en Educación por el Instituto de Estudios Universitarios del Estado de Puebla, México en el año 2014; es candidato a Doctor en Tecnología Educativa por el Centro de Estudios Mar de Cortés, del estado de Sinaloa, México.

Ella actualmente labora para el Tecnológico Nacional de México campus ciudad de Lerdo, Durango, en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como docente presencial y virtual. Ha colaborado para la

Universidad Abierta y a Distancia de México como facilitador virtual; para el Tecnológico de la Laguna como docente virtual; y para el Sistema de Prepa en Línea SEP como facilitador virtual. Se interesa y ha desarrollado investigaciones en temas relacionados con; Tecnología Educativa, Docencia Virtual; Calidad Educativa y Proyectos educativos virtuales.

La M. E. Aguirre pertenece a la Red de Educadores de América Latina y el Caribe RedDOLAC desde el año 2018; ha participado como ponente en congresos internacionales, ha publicado artículos científicos y desarrolla actividades como capacitador docente y empresarial.



Ramírez Sandoval Francisco Javier, nació el 20 de enero de 1968 en la ciudad de Torreón Coahuila, realizó estudios de Ingeniería en Sistemas computacionales en Programación en el Instituto Tecnológico de la Laguna, en Torreón, Coahuila, México, obteniendo el título en el año 1993, en la actualidad posee el grado de Máster en Computación expedido por la Universidad Autónoma de Guerrero, de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México, en el año 2018.

El actualmente labora para el Tecnológico Nacional de México, con ceder en el Instituto Tecnológico de Iguala, como docente de tiempo completo y ha desempeñado los cargos de: coordinador de carrera, coordinador de extensión educativa, Jefe de División de Estudios y Jefe de Difusión y Vinculación, ha colaborado en diversos congresos y simposios



Parada Morado, Lilia, originaria de Torreón, Coahuila, nació el 13 de marzo 1979. Cuenta con la Maestra en Administración de Tecnologías de información, ITESM CL, en Torreón, Coahuila en el año 2003. Es Ingeniera en Sistemas Computacionales, por el Instituto Tecnológico de la Laguna de la ciudad de Torreón, Coahuila en el año 2002.

Ella actualmente labora para el Tecnológico Nacional de México campus de la Ciudad de Lerdo, Durango, México, en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como docente en la modalidad Virtual para la Carrera de Ingeniería industrial. Ha participado en los programas de Ingeniería en Sistemas Computaciones, licenciatura e ingeniera en Informática, docente en programas de posgrado de Ciencias de la Computación. Cuenta con 15 años de experiencia docente, los últimos cuatro como docente en educación virtual a distancia.

M.A.T.I. Parada es instructor del programa CCNA (Cisco Certified Network Associate), ha sido facilitador del diplomado en Formación y desarrollo de Competencias Docentes, para el ITSL

Beneficios De La Implementación De Los Estándares De Calidad Para La Ingeniería De Software

D. C. Mex Álvarez¹, M. Escamilla de la Cruz², G. M. Estrada Segovia³, L. M. Hernández Cruz⁴, N. G. Ortiz Cuevas⁵.

Resumen— Un equipo de trabajo de la Universidad Autónoma de Campeche, desarrollo el Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería (SAEFI) que ofrece el registro y la consulta de los programas educativos, ciclos escolares, docentes, estudiantes, materias, grupos y calificaciones; así como la generación de reportes, certificados y estadísticas. Sin embargo, no se emplearon las mejores prácticas de documentación y normatividad en el desarrollo del software. Derivado del problema anterior, se inició el desarrollo de la segunda versión empleando el estándar ISO/IEC/IEEE 29148, la norma ISO 25000:2005, los estándares ISO 9000 y PSP/TSP, el estándar SWEBOK, el ISO/IEC 12207 y el estándar ISO/IEC/IEEE 29119.

El trabajo es una investigación de tipo descriptiva que propone una evaluación comparativa entre las dos versiones del SAEFI, mostrando los resultados de emplear las mejores prácticas para el Software Development Life Cycle (SDLC).

Palabras claves— Calidad, Desarrollo, Estándares, Software.

Abstract— A work team at the Universidad Autónoma de Campeche, developed the web application “Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería (SAEFI)”, which provides the register and consultation about the educational programs, academic years, subjects, professors, students, ratings and classrooms; in addition, the creation of reports, certificates and statistics. However, the best software development practices were not used. As a result of the previous problem, the development of the second the second version was initiated, using the standards; ISO/IEC/IEEE 29148, ISO 25000:2005, ISO 9000, PSP/TSP, ISO/IEC 12207, ISO/IEC/IEEE 29119 and SWEBOK.

The present work is a descriptive research, that proposes a comparative evaluation between the two versions of SAEFI, demonstrating the results of using the best practices for the Software Development Life Cycle (SDLC).

Keywords— Development, Quality, Software, Standards.

I. INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, el proceso de emisión de calificaciones y

certificados de posgrado; se efectuaba con el llenado de formatos escritos a mano o electrónicos con el empleo de paquetería ofimática. Los profesores tenían que entregar sus calificaciones de manera personal, acudiendo a las oficinas de la coordinación. La consulta de las calificaciones por parte de los alumnos también era de manera personal, teniendo que acudir a las oficinas de la coordinación. El proceso traía problemas como la duplicidad, pérdida de información, dificultad para acudir hasta las instalaciones por parte de los profesores y alumnos, en horarios de servicio al público. Todo lo anterior, suscitaba la demora de los procesos de gestión escolar. [1]

El Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería (SAEFI) versión 1.0, es distribuido y utilizado gratuitamente, ha sido parte de un proyecto institucional que permite realizar los procedimientos y trámites de control escolar de los usuarios de manera ágil en comparación con el método anterior en el que se operaba. Los estudiantes, administrativos y profesores de los posgrados han sido beneficiados por esta aplicación. [2]

Si bien SAEFI logró subsanar una parte de los problemas a resolver, al finalizar el desarrollo de la aplicación web y ser liberada la primera versión, se notificaron algunas incidencias por parte de los usuarios, derivadas de fallas por falta de comprensión de los requerimientos por parte del equipo de desarrollo, al no utilizar estándares que aseguren la calidad del software.

Planteada la problemática se hacen los siguientes cuestionamientos ¿existe un cambio significativo al usar los estándares y normas de calidad? ¿la mala organización es un factor para determinar si el producto final es bueno o malo?

El objetivo del presente trabajo es comprobar que, al hacer uso de las buenas prácticas en el ciclo de vida de desarrollo de software, beneficia en la construcción, despliegue y mantenimiento del software.

¹ Universidad Autónoma de Campeche. Facultad de Ingeniería. Unidad Habitacional Siglo XXIII por Avenida Ing. Humberto Lanz Cárdenas, Kalá, 24085 Campeche, Camp. diancmex@uacam.mx

Es importante resaltar que la presente investigación contribuye a la formación de los desarrolladores, para reconocer que hacer uso de las buenas prácticas de la ingeniería de software contribuye a su ámbito profesional, haciendo sus procesos y tareas más eficientes y con una calidad de software considerable.

A. Marco Teórico

La International Standards Organization, ISO en la norma 8402:1994, define la calidad del software como la “Totalidad de propiedades y características de un producto, proceso o servicio que le confiere su aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas.” En la actualización de la Norma ISO, 9000:2000, la definición dicta “Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”. En esta definición se hace especial énfasis en cumplir los requerimientos de los consumidores. [10]

Bajo esta premisa, los estándares y normas de calidad tratados en este artículo fueron elegidos debido a la naturaleza de los problemas que surgieron en la primera versión del sistema, por ejemplo, para el problema de la falta de comprensión de los requerimientos se utilizó el estándar ISO/IEC/IEEE 29148, para el desarrollo de software los estándares ISO 9000 y PSP/TSP, para las pruebas de software el ISO/IEC/IEEE 29119, entre otros.

En este mismo sentido, el estándar ISO/IEC/IEEE 29148: “Contiene disposiciones para los procesos y productos relacionados con la ingeniería de requisitos para sistemas, productos y servicios de software a lo largo del ciclo de vida. Define la construcción de un buen requisito, proporciona atributos y características de los requisitos y analiza la aplicación iterativa y recursiva de los procesos de requisitos a lo largo del ciclo de vida.” [3]

ISO 25000: “Esta norma ISO, también conocida con el nombre de SQuaRE (Software product Quality Requirements and Evaluation) se organiza en cinco apartados, de igual manera sustituye y amplía las actuales normas ISO 9126 (ISO, 1991; Tecnología de la Información - Calidad de un producto software) y 14598 (ISO, 1999; Tecnología de la Información- evaluación de un producto software) hace hincapié en los atributos que el sistema debe cumplir para que sea considerado un software de calidad.” [4]

El SWEBOK “es una guía propuesta y aprobada por el Instituto de Ingenieros eléctricos y Electrónicos (IEEE Computer Society), la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y otros, con el fin de reunir y definir los conocimientos mínimos de la disciplina de Ingeniería del Software.” [5]

La ISO 9000 “está basada en 8 principios de gestión de calidad, que son la base de la familia de las Normas ISO-9000. (ISO) y sugiere que sean utilizados por la alta dirección con el objetivo de guiar a la organización hacia una mejora de su desempeño. Los principios son: enfoque al cliente, liderazgo, participación del personal, enfoque basado en procesos, enfoque de sistema para la gestión, mejora continua, enfoque basado en hechos para la toma de decisión, relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor.” [6]

Consideramos la PSP/TSP por ser una “disciplina de ingeniería de software diseñada para ayudar a los programadores a controlar, administrar y mejorar la forma en que realizan su trabajo de construcción de programas computacionales. PSP es un conjunto estructurado de actividades para desarrollar un sistema de software mejorando el desempeño personal y ayudando a generar un producto en menor tiempo y con mejor calidad.” [7]

Para el proceso de desarrollo consideramos que TSP es el adecuado debido a que enfatiza en calidad y métricas. “Un proyecto de software de TSP se desarrolla a través de una serie de ciclos de desarrollo, donde cada ciclo comienza con un proceso de planificación llamado lanzamiento y termina con un proceso de cierre llamado postmortem. El uso de TSP en los proyectos de desarrollo software permite que los proyectos sean entregados a tiempo, dentro del presupuesto y con calidad.” [8]

Para la prueba de software elegimos la ISO/IEC/IEEE 29119. [9]

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La documentación de la primera versión de SAEFI, inició el 9 de junio del 2017 y concluyó el 30 de octubre del mismo, con la participación de 3 personas. Una vez concluido el desarrollo y la implementación de la primera versión el 22 de agosto de 2018, los interesados del proyecto, consideraron pertinente iniciar una segunda versión, con un nuevo equipo de desarrollo integrado por 4 personas. La documentación de la segunda versión de SAEFI inicio el 22 de agosto del 2018 y concluyó el 20 de noviembre de 2018. En la primera versión el equipo de desarrollo estuvo integrado por 3 personas, mientras que en la segunda fueron 4.

Las malas experiencias de la primera versión dieron paso a una segunda versión del sistema. Por lo tanto, de acuerdo a los desaciertos de la versión 1.0 de SAEFI se realizó una investigación documental de las mejores prácticas para el Software Development Life Cycle (SDLC) y asegurar la calidad del sistema.

B. Diseño de la investigación

La investigación es de tipo descriptiva, donde se especifican los elementos más importantes de los estándares del SDLC, midiendo los grados de cumplimiento y evaluando sus efectos en el desarrollo de las dos versiones del “Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería (SAEFI)”.

La investigación por la naturaleza de sus objetivos es aplicada, debido a que se utilizan conocimientos teóricos obtenidos por las normas y estándares, aplicados a todas las fases del ciclo de vida de desarrollo de software.

Se realizó una comparativa de las dos versiones realizadas del proyecto: SAEFI, empleando una rúbrica de evaluación con las características con mayor impacto de resultados.

La investigación se realizó en un ambiente controlado por los investigadores, en el que se elaboró una rúbrica donde se mencionan los parámetros que considera cada uno de los estándares y normas de calidad, comparando el grado de cumplimiento de la documentación de la versión 1.0, junto con su documentación y posteriormente, aplicando la misma rúbrica a la documentación de la versión 2.0 del sistema, con el fin de observar los cambios y mejoría entre ambas versiones al utilizar las buenas prácticas de la SDLC.

Esta investigación se concentra en comprobar que el usar las buenas prácticas del desarrollo de software implica una mejoría en el producto final.

El proceso de la metodología de la investigación se dividió en tres etapas:

1. Construcción del instrumento
2. La aplicación del instrumento
3. Interpretación de los resultados

C. Construcción del instrumento

El instrumento de medición se generó con un listado de elementos que considera cada uno de los estándares, valorando la aplicación de cada elemento y/o características en ambas versiones, así como el grado de cumplimiento.

El instrumento se construyó considerando tres columnas:

- Estándar/Norma de calidad: Apartado donde se encuentran los estándares y normas de calidad que fueron considerados para utilizarse en el desarrollo de este sistema.
- Elementos a considerar: Las características que considera cada norma y estándar de calidad que

deben de estar presente en todo el SDLC del sistema.

- Grado de cumplimiento, que se subdivide en dos columnas una con el resultado de la Versión 1.0 y otra con los resultados de la Versión 2.0: Se clasificó el grado de satisfacción de la característica con: Totalmente, Parcialmente y No logrado.

Si la característica de la norma no fue aplicada en el proyecto, se clasificó como “No logrado”, pero si fue aplicado, pero no cumplió con el grado de satisfacción del cliente, también se clasificó como “No logrado”.

Se considerará que la norma fue “Parcialmente” aplicada cuando en el proceso de desarrollo del sistema se haya implementado pero no haya obtenido todas las características que el estándar pudiera haberle propiciado.

Por último, tomará en cuenta como “Totalmente” si y sólo si la aplicación en el proyecto fue totalmente implementada con resultados favorecedores.

D. Aplicación del instrumento

En la Tabla I, se muestra la rúbrica aplicada en ambas versiones del sistema SAEFI.

TABLA I
APLICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES EN LA VERSIÓN 1.0 Y LA VERSIÓN 2.0 DEL PROYECTO

Estándar/norma de calidad	Elemento por considerar	Grado de cumplimiento	
		Versión 1.0	Versión 2.0
ISO/IEC/IEEE 29148	La ERS es correcta	Parcialmente	Totalmente
	La ERS es inequívoca	Parcialmente	Totalmente
	La ERS está completa	Parcialmente	Totalmente
	La ERS es consistente	No logrado	Parcialmente
	La ERS está organizada por orden de importancia	Parcialmente	Totalmente
	La ERS es esencial	Parcialmente	Totalmente
	La ERS es comprobable	No logrado	Totalmente
	La ERS es modificable	Parcialmente	Totalmente
	La ERS es trazable	No logrado	Totalmente
ISO 25000	Funcionalidad	Totalmente	Totalmente
	Fiabilidad	No logrado	Parcialmente
	Usabilidad	Parcialmente	Totalmente

	Eficiencia	No logrado	Parcialmente
	Mantenibilidad	No logrado	Totalmente
	Portabilidad	Totalmente	Totalmente
	Calidad en uso	No logrado	Totalmente
SWEBOK	Requisitos de Software	Parcialmente	Totalmente
	Diseño de Software	No logrado	Totalmente
	Construcción de Software	Totalmente	Totalmente
	Pruebas de Software	Parcialmente	Totalmente
	Mantenimiento de Software	No logrado	Parcialmente
	Gestión de la configuración	No logrado	Totalmente
	Gestión de la ingeniería	No logrado	Totalmente
	Proceso de Ingeniería de Software	Parcialmente	Totalmente
	Herramientas y métodos de la Ingeniería de Software	Parcialmente	Totalmente
	Calidad del Software	No logrado	Totalmente
	Práctica profesional de la Ingeniería de Software	No logrado	Totalmente
	Economía de la Ingeniería de Software	No logrado	Parcialmente
	Fundamentos de Computación	Totalmente	Totalmente
	Fundamentos Matemáticos	No logrado	Totalmente
	Fundamentos de Ingeniería	Parcialmente	Totalmente
ISO 9000	Enfoque al cliente	Parcialmente	Totalmente
	Liderazgo	Parcialmente	Totalmente
	Participación del Personal	No logrado	Totalmente
	Enfoque Basado en Procesos	No logrado	Totalmente
	Enfoque en sistema para la Gestión	No logrado	Totalmente
	Mejora continua	No logrado	Totalmente
	Relación mutua con los proveedores	Totalmente	Totalmente
PSP/TSP	Establecer asignación de roles y personas	Parcialmente	Totalmente
	Establecimiento de los objetivos de grupo	Parcialmente	Totalmente

ISO/IEC/IEEE 29119	Reuniones semanales de grupo	No logrado	Totalmente
	Definir casos de pruebas	Totalmente	Totalmente
	Definir tiempos	Totalmente	Totalmente
	Asignación de recursos	No logrado	Totalmente
	Captura de incidencias	Totalmente	Totalmente
	Dar seguimiento a los ajustes de incidencias reportadas	No logrado	Totalmente
	Generar reportes técnicos	Totalmente	Totalmente
	Generar reportes de alta dirección	No logrado	Totalmente
	Interpretar y generar reportes específicos de resultados	Parcialmente	Totalmente

Una vez recolectado los datos en la rúbrica, se realizó un proceso de análisis estadístico de los resultados que nos permitieron obtener conclusiones.

III. RESULTADOS

Los resultados plasmados en las gráficas presentadas a continuación se adquirieron del total de las características contando cada una de ellas obtenidas de cada versión, por ejemplo, de la versión 1.0 se obtuvo un total de 3 para “No logrado”, 6 para “Parcialmente” y 0 para “Totalmente”, mientras que en la versión 2.0, 0 para “No logrado”, 1 para “Parcialmente”, y 8 para “Totalmente”, se siguió la misma metodología para el resto de las gráficas.

La Figura 1 muestra el cumplimiento de la norma de calidad ISO/IEC/IEEE 29148, se puede observar una mejoría de la versión 2, respecto de la versión 1 con un cumplimiento de 8 puntos para “Totalmente” y sin puntaje en el “No logrado”.

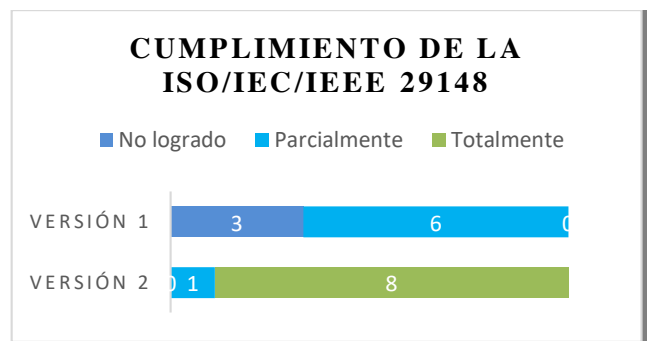


Figura 1. Cumplimiento de la ISO/IEC/IEEE 29148

La Figura 2 muestra, en su caso, como para la norma ISO 25000 en la versión 2, se logra mitigar la cantidad de “No logrado” a “Parcialmente” y “Totalmente”, logrando que todos los aspectos fueran implementados de manera parcial o en su caso en totalmente correcta.

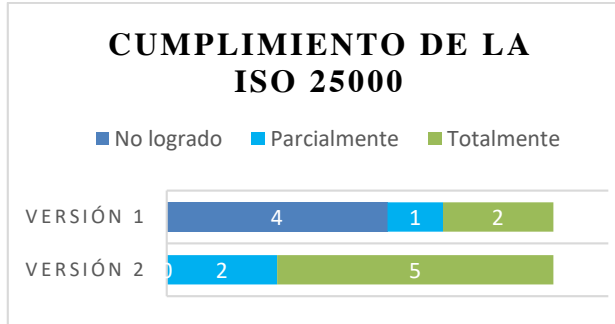


Figura 2. Cumplimiento de la ISO 25000

La Figura 3 muestra cómo se enfocó cada versión a cada etapa del ciclo de desarrollo de software, observando que en el caso de la versión 1, 2 fueron totalmente logrados y 5 que fueron parcialmente implementados. En el caso de la versión 2, 13 elementos fueron totalmente implementados y 2 parcialmente logrados, mitigando en un 100% la no implementación de cualquier fase del desarrollo de software.

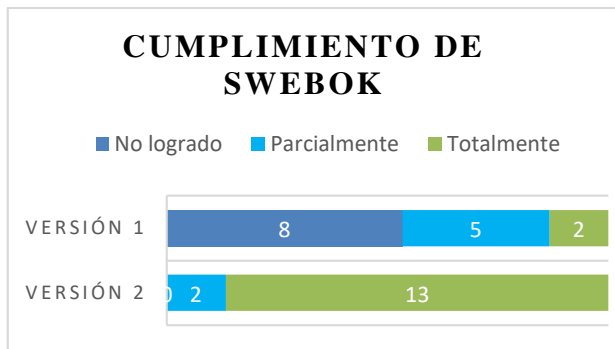


Figura 3. Cumplimiento de SWEBOOK

La Figura 4 muestra cómo las características de la norma ISO 9000 fueron implementadas, siendo esta 1 de los 3 mejores resultados que se obtuvo con la presente investigación, obteniendo todos los aspectos categorizados como “Totalmente”.



Figura 4. Cumplimiento de la ISO 9000

La Figura 5 muestra cómo fue implementado satisfactoriamente el TSP en la versión 2 del proyecto, eliminando por completo las problemáticas surgidas en la versión 1 en el proyecto, simplemente haciendo uso de este marco de trabajo.

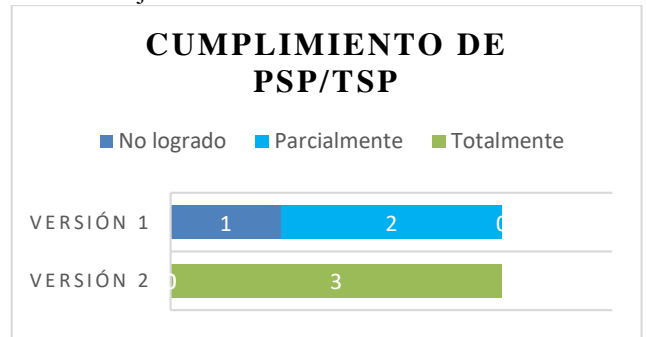


Figura 5. Cumplimiento de PSP/TSP

La Figura 6 muestra la circunstancia de las pruebas de software a nivel de documentación, las cuales fueron satisfactoriamente aplicadas. Para la versión 1 en promedio fueron parcialmente aplicadas, no obstante, se pudo mejorar de tal manera que de las pocas que se encontraban en “No logrado” y “Parcialmente” se mejorara con todos los elementos en “Totalmente”.

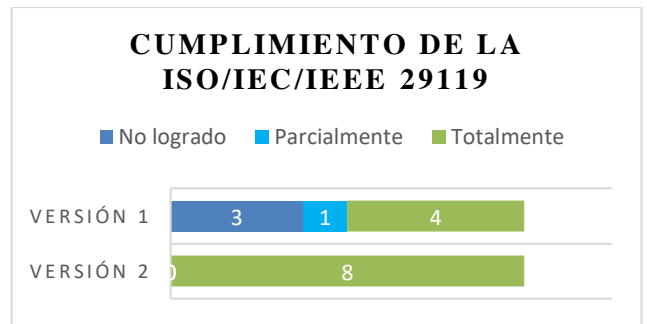


Figura 6. Cumplimiento de la ISO/IEC/IEEE 29119

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La versión 1.0 de SAEFI da cumplimiento a todo lo que respecta a funcionalidad, sin embargo, se generaron una cantidad considerable de incidencias en diferentes rubros que agrupan características de varios estándares los cuales se exponen a continuación:

-Requerimientos: Existieron varios errores de interpretación sobre las necesidades del usuario, y por consiguiente la naturaleza del proyecto se volvió más compleja de lo que realmente era, generando que las necesidades del usuario fueran evolucionando con respecto y el tiempo se extendiera más de lo planeado.

-Diseño de Software: Al no existir una fase de diseño, emergieron problemas relacionados con la base de datos, debido a su mal diseño, esto generó dificultad de responder a los cambios de requerimientos solicitados por el usuario y en algunos casos fue imposibles de atenderlos.

-Equipo: No existió una buena organización en el equipo de desarrollo, lo que llevó a la asignación de tareas de más a los miembros del equipo, generando resistencia a la cooperación por parte de algunos miembros del equipo de desarrollo.

Se llegó a la conclusión de que el sistema realizado es efectivo debido a que cumple con los requerimientos básicos solicitados. Sin embargo, no es eficiente, ya que los tiempos de desarrollo fueron mucho más de los planeados y por consecuencia los recursos contemplados.

Los resultados de la versión 2.0 de SAEFI fueron los siguientes:

- El SWEBOK, el PSP/TSP y la ISO/IEC/IEEE 29119, fueron los mejor implementados, dando un cumplimiento de "Totalmente" en todos sus elementos.

-Los requerimientos fueron interpretados a la perfección por parte de los desarrolladores involucrados en el proyecto, ya que fue efectuada una ERS completa e inequívoca.

-El diseño de software se realizó completamente, llevando a cabo un modelo de datos antes de desarrollar la base de datos como tal, ayudando de tal forma en la cual si llegaran haber cambios se puedan efectuar sin mayores dificultades.

-La organización en el equipo de desarrollo fue mejorando, se establecieron roles a cada miembro, tiempos y objetivos de grupo, además de reuniones semanales para dar un seguimiento a los avances.

El empleo de estándares para cada problemática identificada en la versión 1 condujo a resultados favorables, siendo lo más significativo el ahorro en tiempo y recursos, así como mejoría en la organización de los miembros de desarrollo.

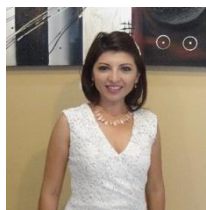
Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Campeche por la formación profesional y en especial a la Dirección de la Facultad de Ingeniería por su confianza y apoyo para la realización de este proyecto.

V. REFERENCIAS

- [1] Ocampo, J. A. (- de Julio-Diciembre de 2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN WEB DE GESTIÓN ESCOLAR CON TECNOLOGÍA JSP Y JPA. (-, Ed.) *FIME*, -(8), 43.
- [2] Ocampo, J. A. (- de Julio-Diciembre de 2017). AUTENTICACIÓN Y AUTORIZACIÓN DE ACCESO DE UNA APLICACIÓN DE GESTIÓN ESCOLAR. (-, Ed.) *FIME*, -(10), 16.
- [3] Sevilla, J. (11 de - de 2016). *OVERTI*. (-, Ed.) Recuperado el - de Diciembre de 2018, de *OVERTI*: <http://www.overti.es/tecnologia/283-normas-y-estandares-para-gestion-de-requisitos>
- [4] Muñoz, D. A. (- de Ene-Jun de 2017). IMPORTANCIA DE QUE EL ALUMNO INFORMÁTICO APLIQUE ESTÁNDARES DE CALIDAD EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE. (-, Ed.) *ANFEI DIGITAL*, 3(6), 4.
- [5] Alain Abran, J. W. (2004). *Guía al cuerpo de conocimiento de la Ingeniería del software SWEBOK* (- ed.). (-, Ed., & -, Trad.) Los Alamitos, -, California: -.
- [6] M. Méndez Ontiveros, D. E. (- de Ene-Jun de 2016). IMPACTO DE PROCESO DE CERTIFICACIÓN ISO-9001:2008 EN LOS LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA Y ELÉCTRICA. (-, Ed.) *ANFEI Digital*, 2(4), 2.
- [7] L. G. Gutiérrez Torres, F. J. (- de Ene-Jun de 2016). PERSONAL SOFTWARE PROCESS Y SU IMPACTO EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL. (-, Ed.) *ANFEI Digital*, 2(4), 1.
- [8] L. G. Gutiérrez Torres, F. J. (- de Ene-Jun de 2016). PERSONAL SOFTWARE PROCESS Y SU IMPACTO EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL. (-, Ed.) *ANFEI Digital*, 2(4), 1.
- [9] L. G. Gutiérrez Torres, F. J. (- de Ene-Jun de 2016). PERSONAL SOFTWARE PROCESS Y SU IMPACTO EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL. (-, Ed.) *ANFEI Digital*, 2(4), 1.
- [10] L. G. Gutiérrez Torres, F. J. (- de Ene-Jun de 2016). PERSONAL SOFTWARE PROCESS Y SU IMPACTO EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL. (-, Ed.) *ANFEI Digital*, 2(4), 1.

VI. BIOGRAFÍA

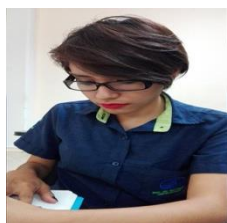


Mex Álvarez Diana Concepción. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche el 17 de diciembre de 1983. Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, Maestra en Pedagogía por la Universidad Mundo Maya con una Especialidad en Entornos Virtuales de Aprendizaje y estudiante del Doctorado en Proyectos, por la

Universidad Internacional Iberoamericana. Cuenta con la distinción del perfil PRODEP otorgado por la Secretaría de Educación Pública.

Ella actualmente es profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería, presidenta de la Academia de Sistemas Computacionales y responsable de los convenios de colaboración de la Facultad.

La Mtra. Mex. ha liderado y participado en diversos proyectos de financiamiento interno, así como de CONACYT y ANUIES. Cuenta con publicaciones Nacionales e Internacionales, donde ha presentado los resultados de los proyectos de investigación. Es parte del comité de revisión científica de la Revista Proyectos Institucionales y de Vinculación; y de la Revista Multidisciplinas de la Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Ha sido miembro del comité evaluador de proyectos del Sistema Nacional de Educación a Distancia (SINED) y de la Feria Nacional de Ingeniería y Ciencias del CONACYT. Ha sido parte del comité académico del Examen General para el Egreso de la Licenciatura de Ingeniería de Software EGEL-ISOFT como representante de la Universidad Autónoma de Campeche ante el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL).



Escamilla de la Cruz Marisol. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche, México el 22 de octubre de 1996. Terminó sus estudios en educación media superior en la preparatoria Dr. Nazario Víctor Montejo Godoy, en el año 2015, realiza sus estudios en la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de

Campeche. Trabajó en el desarrollo de las interfaces gráficas de usuario en un programa de gestión de cheques de la Secretaría de Pesca de la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche.

Ella actualmente se encuentra realizando su servicio social en el centro de investigación y desarrollo de software en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, con el proyecto "Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería" (SAEFI).



Estrada Segovia Guadalupe Manuel. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche, México el 10 de diciembre de 1976. Terminó sus estudios en educación superior en la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales por la Universidad Autónoma de Campeche. Maestro en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Él actualmente estudia un Doctorado en Proyectos, por la Universidad Internacional Iberoamericana, de igual manera es Director Académico de la Facultad de Ingeniería y Coordinador de la Dependencia de Educación Superior (DES) de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Campeche, donde también es profesor.

Miembro del Grupo Técnico de Instituciones de Educación Superior (IES). Miembro del Consejo Técnico del Examen General para el Egreso de la Licenciatura de Ingeniería de Software EGEL-ISOFT como representante de la Universidad Autónoma de Campeche ante el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL), miembro de la Comisión de Formación y Gestión del Conocimiento de la Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México.

Fungió como Secretario Académico de la Facultad de la Ingeniería y Trabajó en la empresa Sahfer Consultores (Campeche, México).



Hernández Cruz Luz María. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche, México el 13 de marzo de 1980. Se graduó como Ingeniero en Sistemas Computacionales en la Universidad Autónoma de Campeche en el año 2001. Estudió la Maestría en Gestión de Tecnologías de la Información en la Universidad del Mayab en Mérida, Yucatán obteniendo el grado en el año 2010.

Ella actualmente labora como Profesor e investigador en la Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche México. Las áreas de interés son: tratamiento de información, ingeniería de software y administración de proyectos.

La Mtra. Hernández ha participado en los siguientes proyectos de investigación internos "Diseño e implementación de educación a distancia en la Facultad de Ingeniería", "Diseño e implementación del sistema de convenios de la Facultad de Ingeniería", "Aplicación web de gestión escolar de los posgrados de la Facultad de Ingeniería", "Aplicación web de administración de servicios odontológicos BITA" y "Plataforma Virtual de Gestión de Asesorías Académicas". Además, participó como asesor externo de proyectos en la Feria de Ciencias e Ingenierías 2017 a través del Consejo Estatal de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de Campeche y revisor de artículos en el 2do. Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática CIERMMI 2017, organizado por el Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C.



Ortiz Cuevas Nancy Georgina. Nació el 28 de agosto en la Ciudad de Campeche. Cursó estudios de Licenciatura en Informática en el Instituto Tecnológico de Campeche obteniendo el mejor promedio de la carrera y la Maestría en Tecnología Educativa en el Centro de Excelencia Campus Ciudad Victoria, de La Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Actualmente labora como Coordinadora de la Carrera de Ingeniero en Sistemas Computacionales, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, además de ser docente desde hace 21 años en la misma institución.

Ha participado como evaluadora en la Comisión de Pares Académicos Externos (CPAE) por parte de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES).

Usabilidad de iceScrum y ScrumDesk Como Herramientas De Gestión De Proyectos Ágiles Scrum.

L.M. Hernandez-Cruz¹, M. A. Mijangos-Ortiz², D.C. Mex-Alvarez³, M.D. Flores-Guerrero⁴, J.R. Cab-Chan⁵

Resumen— Las metodologías ágiles como Scrum están siendo empleadas en gran parte de los proyectos actuales, esto debido a su flexibilidad y rapidez en los procesos y porque nos ofrece un gran aumento en productividad, calidad y eficiencia, así como también promueve el trabajo en equipo.

En el presente trabajo se analizan y comparan dos plataformas para la gestión de proyectos ágiles Scrum: iceScrum y SD las cuales fueron empleadas por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche en la elaboración de dos proyectos de desarrollo de software.

La presente investigación es de tipo cualitativa, emplea una metodología que permite comprender la experiencia vivida desde el punto de vista de los equipos de desarrollo de software. Se empleó la técnica de grupo nominal para obtener un consenso de la usabilidad de acuerdo a los criterios de la norma ISO 25010.

Palabras claves—Gestión, Proyectos, Scrum, Usabilidad.

Abstract— The agile methodologies such as Scrum are being used in a large part of the current projects, as a result of their flexibility and speed in the processes, It provides to us a great increase in productivity, quality and efficiency, in addition promotes team work.

In this work, two platforms for agile project management are analyzed and compared; iceScrum and SD which were used by students of the "Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche", in the development of two software projects.

The present research is a qualitative one, employing a methodology that allows to understand the experience lived from the point of view of the development teams. The nominal group technique was used to obtain a usability consensus according to the criteria of the ISO 25010 standard.

Keywords— Management, Projects, Scrum, Usability.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo general de este trabajo es analizar el grado de usabilidad de las versiones gratuitas de iceScrum y ScrumDesk (iS y SD), para identificar cualidades y deficiencias de cada una de ellas de acuerdo a la norma ISO 25010[1].

Es común que si han optado por la metodología agile Scrum como base para su proyecto se pregunten ¿Cuáles son las mejores herramientas para la gestión de proyectos a emplear? ¿En qué casos conviene usar una herramienta más que otra?, el presente trabajo responde a estas preguntas.

SD es una plataforma tecnológica en línea para la gestión de proyectos Ágiles en equipos que utilizan Scrum [2]. SD fue implementada en el desarrollo de la versión 2.0 del Sistema de Administración Escolar de La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche el cual busca perfeccionar la versión 1.0.

iS es una plataforma tecnológica de manejo y gestión de proyectos en línea. que ofrece un conjunto de herramientas al equipo, integrando digitalmente los artefactos scrum y la gestión de eventos. [3] Fue utilizada durante el desarrollo del sitio web Sisconve el cual realiza el seguimiento a los productos emanados de convenios celebrados con diversas instituciones y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche.

En los proyectos antes mencionados han participado siete alumnos y un profesor de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche.

iS y SD cuentan tanto con versiones gratuitas como de pago, sin embargo, los alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche emplearon las versiones gratuitas de iS y SD, por ser herramientas completas que ofrecen lo necesario para la buena gestión de gestión de proyectos ágiles para cualquier tipo de proyecto

¹Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Sistemas Computacionales, s/n por Avenida Ing. Humberto Lanz Cárdenas y Fracc. Ecológico Ambiental Siglo XXIII, Ex Hacienda Kalá, C.P. 24085. San Francisco de Campeche, Cam., México.

*lmhernan@uacam.mx.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, Departamento de Administración y Sistemas Av. Universidad s/n. Ciudad Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66451. Nuevo León, Monterrey, México.

de desarrollo de Software. El análisis presentado en este trabajo se basó en las experiencias sobre el empleo de las herramientas iS y SD de los equipos de desarrollo.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La presente investigación es de tipo cualitativa, emplea una metodología que permite comprender la experiencia vivida desde el punto de vista de los equipos de desarrollo de software de los proyectos [4]: Sitio Web Sisconve y el Sistema de Administración Escolar de La Facultad de Ingeniería.

Se empleó la técnica de grupo nominal para obtener un consenso de las experiencias de los equipos de desarrollo respecto a la herramienta de gestión empleada [5] de acuerdo con los criterios de la norma ISO 25010.

El desarrollo de la técnica se efectuó de la siguiente manera:

Se convocó a una reunión a los 8 integrantes de los equipos de desarrollo de los proyectos: Sitio Web Sisconve y el Sistema de Administración Escolar de La Facultad de Ingeniería.

Una vez reunidos, se les informó sobre el objetivo de analizar la usabilidad del iS y SD. Se explicó que la usabilidad se refiere a la capacidad del producto software para ser entendido, aprendido, usado y atractivo, cuando se usa bajo determinadas condiciones. Se les instruyó sobre los aspectos de la norma ISO 25010 que serían analizados, presentados a continuación:

- A. *Capacidad para reconocer su adecuación*
- B. *Capacidad de Aprendizaje*
- C. *Capacidad para ser usado*
- D. *Protección contra errores de usuarios*
- E. *Estética de la interfaz de usuario*

Por cada aspecto de la norma ISO 25010 se efectuó la siguiente dinámica:

- Se formaron dos grupos, de acuerdo con sus equipos de desarrollo: 4 personas para el Sitio Web Sisconve y 4 el Sistema de Administración Escolar de La Facultad de Ingeniería.
- Se repartió una hoja en blanco a cada participante y en silencio escribió su percepción del aspecto de acuerdo a la experiencia con la herramienta empleada.
- En cada equipo el Scrum master registró las ideas generadas de manera individual en una rueda de intervenciones.
- Una vez registradas todas las ideas, se inició la discusión entre los participantes para aclarar dudas.

- Posteriormente, de manera individual, cada participante ordenó jerárquicamente las aportaciones.
- El Scrum Master sumó las votaciones individuales y generó la jerarquía grupal de aportaciones por cada aspecto. En el presente trabajo sólo se consideraron las principales aportaciones de cada grupo de desarrollo.

Con base en los resultados de la técnica anterior, el investigador realizó un análisis y sintetizó los resultados que se presentan a continuación.

III. RESULTADOS

A. *Capacidad para Reconocer su Adecuación.*

Es importante que el usuario pueda entender si el software es adecuado para sus necesidades, y si permite cumplir con cada aspecto del proyecto.

Herramientas Principales.

iS cuenta con herramientas como Tablero, La Pila, Planning, Tablero de Tareas y Características, así como visualizador de gráficas y estadísticas, estas permiten ver los principales objetivos del proyecto, cambios, planificar, visualizar las historias de usuario propuestas, gestionar las tareas, determinar los tipos de atributo de calidad, así como tener indicadores acerca del progreso del proyecto.

SD cuenta con las mismas que iS tales como Story map, Backlog, Plan, Work y Reports pero además ofrecen otras tales como OKR, Roadmap, Work, Retro, Rca, estas nos permiten desde dar seguimiento a los objetivos, comparar el estado actual del proyecto con los planeado, aplicar técnicas de retrospectivas, así como buscar causas de errores.

Equipos de trabajo.

Es importante mencionar cuántos proyectos, equipos de trabajo y cuántos miembros puede soportar la aplicación en la versión que se está trabajando, iS permite el desarrollo de un proyecto privado, un equipo de trabajo y tres usuarios, mientras SD de igual manera permite un proyecto privado, un equipo de trabajo, pero con la diferencia de que permite la integración de 4 usuarios.

B. *Capacidad de aprendizaje.*

El usuario tendrá que aprender a usar la plataforma, mientras más rápido sea este proceso resultará más beneficioso para el equipo, en esto influirá el idioma, la documentación que nos ofrezcan, así como el soporte y ayuda que sea proporcionada a los usuarios.

Idiomas.

iS tiene la posibilidad de ser usado en tres idiomas diferentes como lo son el español, inglés y francés que son

idiomas hablados por un gran porcentaje de personas en el mundo lo cual es una gran ventaja para los miembros del equipo que trabajan constantemente en la plataforma.

En el caso de SD solo es soportado en el idioma inglés, que, aunque hoy en día este idioma se vuelve indispensable para la mayoría de los proyectos y actividades en la que nos involucramos muchas veces no todos los miembros del equipo se desenvuelven bien en este idioma lo cual ocasiona que al principio se tarden un poco más en adaptarse a la plataforma.

Documentación.

iS cuenta con una muy buena documentación con secciones como Para Empezar donde hay una guía de inicio que enseña como empezar a usar iS, Características principales donde se habla de conceptos de la metodología Ágil Scrum y de cómo iS se desenvuelve con ellos.

SD también tiene una extensa documentación con secciones como Agile & Scrum Fundamentals donde nos muestran fundamentos y conceptos y sobre la metodología Ágil Scrum, SD Suite donde podemos aprender cómo usar SD y gestionar los proyectos, Improve Continuosly donde se pueden leer retrospectivas y consejos acerca del uso de SD, También cuenta con un apartado llamado Consultancy donde se puede encontrar información y recursos que pueden ayudar al mejor desarrollo del proyecto como glosarios, infografías y tarjetas que se pueden imprimir.

Contacto.

Tanto iS como SD cuentan con apartados en los que puedes ponerte en contacto con la empresa, dejar opiniones o resolver dudas.

iS tiene un apartado llamado Recursos donde encontraras secciones como FAQ o preguntas frecuentes, foros y un Blog donde se abordan temas acerca de iS.

SD tiene apartados como Contacto donde se puede enviar mensajes de correo electrónico a la empresa y un Blog donde encontraremos publicaciones recientes que giran alrededor de SD.

C. Capacidad para ser usado.

El usuario debe ser capaz de operar y controlar la plataforma con facilidad.

Facilidad de Navegación.

Se han analizado diferentes aspectos tales como el desplazamiento entre páginas, si responden correctamente a las acciones iniciadas por el usuario, si existen elementos que interfieran con el usuario al momento de trabajar, si los enlaces son predecibles en cuanto a lo que sucederá si el usuario da click sobre él, o si hay algún enlace que no esté funcionando, si el usuario puede ubicar en qué apartado se encuentra y puede regresar a puntos anteriores con facilidad.

En ambas plataformas cuando el contenido excede el tamaño de la pantalla y se habilita un Scrolling vertical. iS lo hace más notable en su apartado de la pila de producto tal como se aprecia en la Figura 1 permitiendo desplazarse entre las diferentes historias de usuario, a pesar de tener un scrolling vertical las historias de usuario se ordenan de manera horizontal de izquierda a derecha, se puede visualizar cierta información acerca de cada historia de usuario a simple vista tales como su esfuerzo y valor y cuantas tareas contiene.

En SD el scrolling vertical también es más visible en el apartado de Backlog, tal como se muestra en la Figura 2 pero a diferencia de iS esta muestra las historias de usuario ordenadas de forma vertical, se puede visualizar a simple vista información acerca de estas tales como a que Epic Sprint pertenecen, así como el riesgo, esfuerzo y quienes trabajan en ellas.

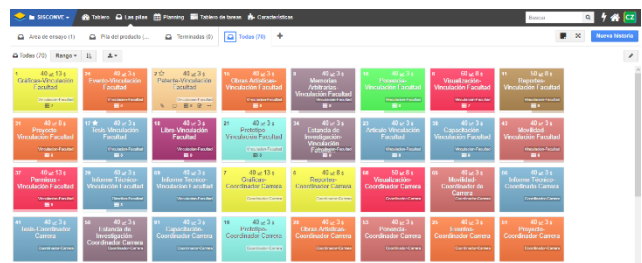


Figura 1. Pila de Producto iS

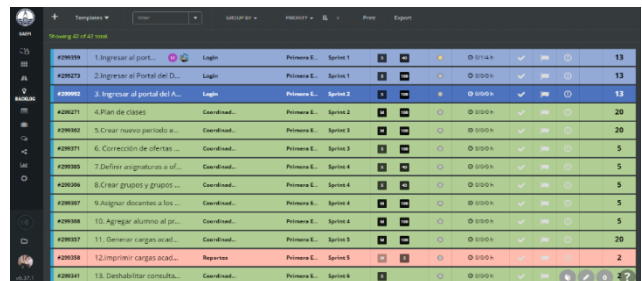


Figura 2. Backlog SD

Entendibilidad.

Se analizó qué tan fácil es cumplir con ciertos objetivos, si tienen un lenguaje sencillo con mensajes claros y si no se dificulta recordar las funciones de cada componente.

iS tiene un layout muy familiar, ya que los principales componentes están distribuidos de una forma muy tradicional, con la barra de navegación en la parte superior, los botones con sus respectivos nombres y aquellos que cuentan con iconos que para muchos tal vez no resulten entendibles a primera vista; cuenta con la característica de que al momento de hacer el hover sobre ellos resalta el atributo del título.

SD cuenta con un layout menos familiar, con la distribución de componentes algo distinto al que la gran mayoría podría estar acostumbrado, la barra de navegación se muestra en el lateral izquierdo y todos los botones tienen iconos donde algunos pueden resultar algo confusos; no muestran la descripción a menos que se haga click sobre ellos, es decir, no cuenta con el atributo de título al momento de hacer hover.

D. Protección contra errores de usuario.

Las aplicaciones web deben tener la capacidad de evitar que los usuarios puedan cometer errores.

Errores de usabilidad.

Los usuarios pueden tener errores que van desde una mala asignación de roles, equivocarse en la planificación, en la creación de historias de usuario o tareas, en la estimación, incluso al momento de añadir nuevos miembros o eliminarlos. [6]

En cuanto a la asignación de roles en ambas plataformas se hacen desde la configuración prácticamente con las mismas opciones, pero con diferente interfaz.

iS ofrece las opciones de configuración del proyecto concentradas en una pantalla desplegable lo que facilita al usuario tener todo a simple vista, pero con mucha información en una sola pantalla, cuenta con una agradable combinación de colores disminuyendo en un alto grado que el usuario pueda asignar equivocadamente los roles, agregación o eliminación de miembros o equivocarse en las fechas de planificación y si esto pasara la plataforma permite una sencilla corrección. En la Figura 3 se muestra la pantalla de configuración principal de iS.

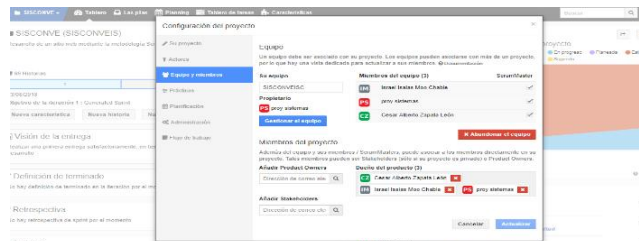


Figura 3. Configuración iS

El crear historias de usuario, estimarlas, agregar tareas y asignarlas a algún miembro se hace mediante un proceso claro e intuitivo donde si hay algún error basta con eliminar o editar la historia o tarea.

SD ofrece otro formato en el que se puede visualizar de una manera más clara, distribuyendo las opciones de configuración en un espacio más amplio, la asignación de roles se hace mediante tarjetas donde hay información del miembro que ofrece también maneras de contactarse con ellos como mensajes de correos y llamadas a través de Skype, esto facilita la correcta asignación de roles, agregación o eliminación de miembros o en las fechas de planificación, de igual manera si por alguna razón se hubiera cometido algún error se podría corregir fácilmente. En la Figura 4 se muestra la pantalla de configuración principal de SD.

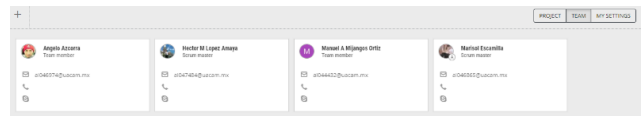


Figura 4 Configuración SD

De igual manera, pero con otra interfaz, el crear historias de usuario, estimarlas, agregar tareas y asignarlas a algún miembro se hace mediante un proceso claro e intuitivo donde si hay algún error basta con eliminar o editar la historia o tarea.

E. Estética de la Interfaz de Usuario.

Atractividad de la Interfaz.

Se tomaron en cuenta diferentes parámetros para evaluar con exactitud este apartado, el primero fue la bienvenida al usuario, tanto en SD como IS tienen una bienvenida, sin embargo, cabe destacar que en el caso de IceScrum es más completa y amigable a comparación de la de SD, por lo tanto, se observó que IS posee mucha más información relevante acerca de las actividades que realiza el software, en una presentación de animaciones, en la Figura 5 se muestra la pantalla de bienvenida de iS ,en el caso de SD sólo se muestra la información de manera estática sin ser tan interactivos con el usuario. En la Figura 6 se muestra la pantalla de bienvenida de SD.



Figura 5. Bienvenida al Usuario iS

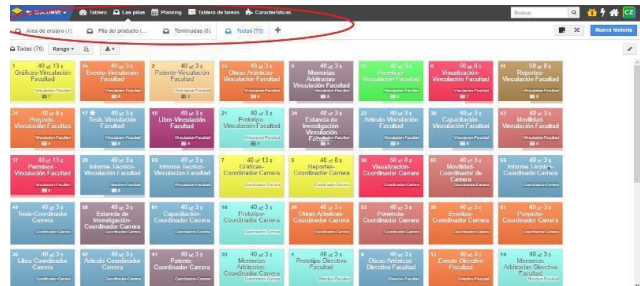


Figura 8. Posición de Componentes iS



Figura 6. Bienvenida al usuario SD

Posteriormente, se evaluó la presentación del software, específicamente valorando la consistencia de este, hay que hacer hincapié en que no es lo mismo que evaluar su estética. La estética se refiere en que tan agradable es visualmente para el usuario, mientras que la consistencia recae en la localización de los componentes y como el software actúa en el caso de un cambio de pantalla, por ejemplo, no es lo mismo que sea usado en la pantalla de una computadora que en la pantalla de un teléfono inteligente o en una tableta, tomando en cuenta esta premisa SD y IS tienen prácticamente las mismas funcionalidades. [7][8] La posición de sus componentes se les considera entendibles y correctas, tomando en cuenta la distribución de los componentes SD a comparación de iS adecua sus componentes principales de tal forma que caben en una misma línea vertical posicionada en la parte izquierda dejando en la parte superior las opciones que trae cada apartado, tal como se muestra en la Figura 7. iS por otra parte posiciona tanto los apartados principales como sus opciones de forma un tanto más tradicional en la parte superior. En la Figura 8 se muestra la distribución de los componentes principales de iS.

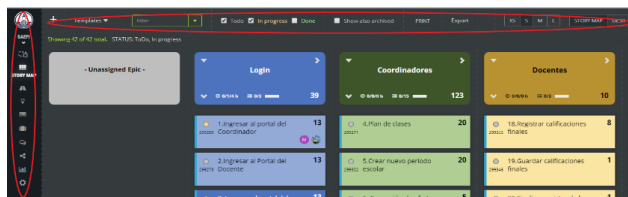


Figura 7. Posición de Componentes SD.

Se realizó una visualización de las herramientas en una tableta, ambas cumplen con la correspondencia de componentes adecuada, no obstante, en el caso de IS presenta un ligero desplazamiento mayor, además de que en algunas circunstancias se desfasa. [9]

En el caso de la visualización de las herramientas en teléfonos inteligentes fue más satisfactoria para ambas herramientas, demostrando una mejor ubicación de sus elementos tanto para IS como SD.

Con respecto al punto de vista orientado específicamente en la teoría del color se tomó en cuenta la combinación de texto, gráficos, colores y fondo. SD posee un entorno cómodo, la relación entre los colores es visualmente atractiva, los tonos en negro ayudan al usuario a que su vista no se canse, dispone de animaciones muy ligeras se considera que la razón es para que la aplicación web no consuma una cantidad de recursos considerables, en caso de iS los colores resultan ser un poco más informales, tomando en cuenta la cantidad de tonos amarillos y azules, sin embargo, es muy interactiva, los gráficos resultan ser agradables a la vista, las animaciones son atractivas y dinámicas.

Personalización.

El apartado de personalización se encargará de analizar la configuración de elementos de acuerdo al perfil y los elementos cambiables en la interfaz.

SD tiene una gran cantidad de opciones personalizables, así como bastantes apartados que ayudan a gestionar el proyecto en cuestión dependiendo de los módulos y las tareas, entre ellos se encuentran; diagramas, seguimiento, recorrido, backlog, plan de proyecto, trabajo realizado, retroalimentación, rca, reportes, y configuración de información del proyecto, además de que goza de la habilidad de poder personalizarlo a nivel de estética, resulta ser muy entendible para el usuario, en las opciones para cambiar las características del proyecto se encuentran; cambiar logo del proyecto/organización, nombre, código, descripción, planeación/planificación, trabajo, integración, custom fields, importar de JIRA, archivar el proyecto o eliminar el proyecto.

iS por su parte, posee de igual manera una cantidad de opciones personalizables pero no tantas como SD entre ellas se encuentran; Tablero, Pilas, Planning, Tablero de tareas y características del proyecto, esta herramienta también puede personalizarse con respecto a la interfaz gráfica, cambiando sus diagramas y los colores, haciéndolo más cómodo para el usuario, las características que se pueden adaptar y/o modificar para el proyecto son el nombre, clave, descripción, roles, los miembros del equipo, prácticas, planificación, administración y flujo de trabajo.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En cuanto a la capacidad para reconocer su adecuación ambas plataformas cumplen con las principales herramientas que son necesarias para trabajar en los proyectos realizados en la facultad de Ingeniería.

Capacidad de aprendizaje a pesar de que SD cuenta con una mayor documentación comparándolo con la que ofrece iS el hecho de que se presente en un solo idioma, el inglés, es una desventaja para un equipo de hablantes nativos del español el no poder profundizar en la plataforma con tanta facilidad en como si lo hicieran en su idioma natal.

Capacidad para ser usado en ambas plataformas se puede navegar con facilidad, pero en SD es algo menos intuitiva ya que presenta un layout menos tradicional y en ciertos aspectos la entendibilidad es inferior a la de iS.

Protección contra errores del usuario en este apartado dejando a un lado que plataforma cuenta con un mayor grado de entendibilidad se puede decir que ambas plataformas cumplen con evitar que el usuario cometa errores en su uso y si los llegara a cometer estas permiten corregirlo.

Estética de la interfaz de usuario en esta sección influye mucho los gustos de los usuarios, no a todos les puede gustar un color que para otros tal vez sea su favorito, pero no todo se trata sobre el color, también es sobre la combinación de textos y gráficos, así como la consistencia de cada plataforma y el grado de personalización, donde SD es muy favorecido por su grado de personalización del proyecto por otro lado iS cuenta con una mejor consistencia y atractividad de interfaz.

A pesar de que ambas herramientas tienen un alto grado de usabilidad y cuentan con las herramientas necesarias para un buen desarrollo de los proyectos la que más se ha podido adaptar a la realización de los proyectos antes mencionados es la herramienta iS, debido a su capacidad de aprendizaje y para ser usada, por lo que es ampliamente recomendado para proyectos ágiles scrum. No obstante SD sigue siendo una gran herramienta para equipos de mayor tamaño que busquen una herramienta algo fuera de una interfaz

convencional y que estén dispuestos a invertir un poco más de tiempo en aprender a usarla .

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche por las facilidades concedidas para la realización y difusión de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] ISO. (2019). "ISO 2010 Usabilidad". Disponible en: <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010/23-usabilidad>
- [2] SD Intuitive management. (2019). "About SD, online scrum project management tool". Disponible en: <https://www.SD.com/start/manual-for-SD-start/start-about-SD-start/>
- [3] Mex Álvarez, D. C., Hernandez Cruz, L. M., Cab, C. J., y Romero Hernandez, O. F. (2018). "Desarrollo del sitio web Sisconve con la metodología Scrum". Revista de Tecnologías de la Información, pp.17-26.
- [4] Álvarez, C. A. (2011). "Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa Guía Didáctica". Universidad Surcolombiana Facultad de Ciencias Sociales y Humanas Programa de Comunicación Social y Periodismo.
- [5] Duggan, E. W., y Thachenkary, C. S. (2004). "Integrating nominal group technique and joint application development for improved systems requirements determination". Information & Management, pp. 399-411
- [6] Bevan, N., Carter, J., Earthy, J., Geis, T., & Harker, S. (2016, July). New ISO standards for usability, usability reports and usability measures. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 268-278). Springer, Cham.
- [7] Roa, L. E. G., López, M. D. L. Á. S., & Verdín, M. K. C. Guías para la evaluación de usabilidad durante el desarrollo del software.
- [8] Lee, S., y Koubek, R. J. (2010). Understanding user preferences based on usability and aesthetics before and after actual use. Interacting with Computers, pp. 530-543.
- [9] Espinosa Ruiz, F. J., & Cañizares Sánchez, L. A. (2007). Propuesta de guía de estilos de diseño de interfaces gráficas de usuario tipo web para dispositivos móviles PDA (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2007).

VII. BIOGRAFÍA

Hernández Cruz Luz María. nació en la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche México el 13 de marzo de 1980. Se graduó como Ingeniero en Sistemas Computacionales en la Universidad Autónoma de Campeche en el año 2001. Estudió la Maestría en Gestión de Tecnologías de la Información en la Universidad del Mayab en Mérida, Yucatán obteniendo el grado en el año 2010.

Ella actualmente labora como Profesor e investigador en la Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche México. Las áreas de interés son: tratamiento de información, ingeniería de software y administración de proyectos.



La Mtra. Hernández ha participado en los siguientes proyectos de investigación internos “Diseño e implementación de educación a distancia en la Facultad de Ingeniería”, “Diseño e implementación del sistema de convenios de la Facultad de Ingeniería”, “Aplicación web de gestión escolar de los posgrados de la Facultad de Ingeniería”, “Aplicación web de administración de servicios odontológicos BITA” y “Plataforma Virtual de Gestión de Asesorías Académicas”. Además, participó como asesor externo de proyectos en la Feria de Ciencias e Ingenierías 2017 a través del Consejo Estatal de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de Campeche y revisor de artículos en el 2do. Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática CIERMMI 2017, organizado por el Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C.



Mijangos Ortiz Manuel Alejandro. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche el 14 de noviembre de 1995. Terminó sus estudios de Educación Media Superior en la Preparatoria Dr. Nazario Víctor Montejo Godoy de la Universidad Autónoma de Campeche en la Ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche, México, en el año 2014.

Él es estudiante de Educación Superior en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche en la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche, México.

El B.R. Mijangos actualmente trabaja en el proyecto “Sistema de Administración Escolar de la Facultad de Ingeniería” de la Universidad Autónoma de Campeche.



Mex Álvarez Diana Concepción. Nació en San Francisco de Campeche, Campeche el 17 de diciembre de 1983. Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche en el año 2006, Maestra en Pedagogía por la Universidad Mundo Maya con una Especialidad en Entornos Virtuales de Aprendizaje y estudiante del Doctorado en Proyectos, por la Universidad Internacional Iberoamericana. Cuenta con la distinción del perfil PRODEP otorgado por la Secretaría de Educación Pública. Actualmente es profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería, presidenta de la Academia de Sistemas Computacionales y responsable de los convenios de colaboración de la Facultad.

La Mtra. Mex. ha liderado y participado en diversos proyectos de financiamiento interno, así como de CONACYT y ANUIES. Cuenta con publicaciones Nacionales e Internacionales, donde ha presentado los resultados de los proyectos de investigación. Es parte del comité de revisión científica de la Revista Proyectos Institucionales y de Vinculación; y de la Revista Multidisciplinas de la Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Ha sido miembro del comité evaluador de proyectos del Sistema Nacional de Educación a Distancia (SINED) y de la Feria Nacional de Ingeniería y Ciencias del CONACYT. Ha sido parte del comité académico del Examen General para el Egreso de la Licenciatura de Ingeniería de Software EGEL-ISOFTE como

representante de la Universidad Autónoma de Campeche ante el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL).

representante de la Universidad Autónoma de Campeche ante el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL).



Flores Guerrero Mayra Deyanira. nació el 4 de julio en la Cd. De Guadalupe Nuevo León. Egresó de la carrera de Ingeniero Administrador de Sistemas en el año 2002 y Maestría en Ciencias de la Administración con Especialidad en Relaciones Industriales en el año 2005 en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Cuenta con especialidad en Todólogo en Mecatrónica desde el 2007 y Doctorado en Educación desde el 2014.

La Dra. Mayra actualmente se encuentra como docente en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y en la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, investigadora y editora de la revista Proyectos Institucionales y de Vinculación.

La Dra. Flores contribuye a los planes de estudio en la carrera de Ingeniero Administrador de Sistemas posteriormente para Mecatrónica y para Ingeniero en Tecnología de Software.



Cab Chan José Ramón, Nació el 26 de febrero de 1970 en la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche. Cursó estudios de Licenciatura en informática en el Tecnológico de Campeche en el año 1999, curso la Maestría en Tecnología Educativa en la Universidad Autónoma de Tamaulipas en 2006; Actualmente, cursa el doctorado en Gestión de Proyectos en la UNINI.

UNINI.

El actualmente labora en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche como Profesor de Tiempo Completo, cuenta con perfil PRODEP, imparte cátedra en distintas asignaturas de la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Computacionales; También, se desempeña como responsable de la supervisión de la Red Computadoras de la Facultad y se desempeña como Profesor de Asignatura en el Tecnológico de Campeche impartiendo asignaturas en Ingeniería en sistemas computacionales.

El Mtro. Cab ha participado en proyectos internos de la UAC entre los que se pueden mencionar: “Implementación de Educación a Distancia en la Facultad de Ingeniería”, “Desarrollo de aplicación BITA para la Facultad de Odontología”, “Desarrollo de aplicación Web para Posgrado de la Facultad de Ingeniería”, entre otros.

ÍNDICE DE AUTORES

► A

Abalos Suárez, Irvin Del Carmen	
Acosta Arevalo, Jorge Uriel	36
Adame Delgado, Raymundo	149
Aguilera Reza, Ignacio	155
Aguirre Mejía, Elena	
Tzetzangary	174, 179
Alvarado Tovar, Noé	149, 155
Álvarez Macías, Carlos	115, 133
Amaro Hernández, César	73, 79
Aragonez Aguirre, Andrea	36
Arjona López, Marco Antonio	122
Arzola Monreal, Juan Martín	161
Ávila, William	103

► B

Basurto Méndez,	
Jesús Abraham	122
Betancourt Chavez,	
Julio Roberto	32

► C

Cab Chan, José Ramón	185, 192
Caldera Vidaña, Alejandro	139
Castillo González, Jafet Alahí	155
Castrejón Lozano, Juan Gerardo	15
Chagolla Aguilar, Oscar Raziél	68
Chávez Flores, Roberto	155
Conde Limón, Camilo Enrique	109
Cordero Escamilla,	
Armando José	42
Corral Bustamante, R. Leticia	36
Cosme Aceves, José Francisco	9, 26
Cruz Ortega, Pedro	90
Cuevas Ochoa, Guillermo	73, 79

► D

De Jesús, Jesús Gervacio	49
De la Rosa Romo, David	133
Del Río Santana, Omar	15
Díaz Chacón, Juan Mauricio	73, 79

► E

Escamilla de la Cruz, Marisol	185
Espinoza Fraire,	
Arturo Tadeo	15, 32
Estrada Segovia,	
Guadalupe Manuel	185

► F

Flores Ávila, Agustín	60
Flores Ávila, José Agustín	56
Flores Guerrero,	
Mayra Deyanira	192
Flores Luévanos,	
María Guadalupe	161
Flores Prince, Carlos Uriel	56, 63
Fuentes Rosas, Liliana	20

► G

Galván Aguirre, Gilberto	149
García Cano, Obed Antonio	68
Gómez Guerrero, Rocío Yadira	174
Gómez Guerrero, Sandra Luz	174
González Vargas, Luis Amado	42

► H

Hernández Cruz,	
Luz María	185, 192
Hernandez Montoya,	
Karen Lizbeth	144
Hernández Zárate,	
Jorge Arturo	90

► L

Lagos Acosta, Mario Alberto	9, 26
Lam Bencomo,	
Andrea Jaquelyn	36
Linares Aranda,	
José de Jesús	168
Linares Enríquez, Alejandro	2, 49

Loera Palomo,	
Rodrigo	109, 115, 122, 127, 133
López Cabrera,	
Anibal Gaudencio	20
López García, Rogelio	2

► M

Maciel Soto, Victor Antonio	149
Manqueros Avilés,	
Victor Edi	42, 155
Martínez Morales, Samuel	127
Mata Brauer, Víctor	73
Meraz Salazar,	
Erika Alejandra	68
Mex Alvarez,	
Diana Concepción	185, 192
Meza Butrón, Juan	149
Mijangos Ortiz,	
Manuel Alejandro	192
Morales Bazán, Carlos Alberto	122
Morales Domínguez,	
Jesús Manuel	115
Morales Tassinari,	
Adolfo Manuel	90
Moras Sánchez,	
Constantino Gerardo	20
Moreno Núñez, Elda	161

► N

Navarro Valle, Alberto	73, 79
------------------------	--------

► P

Parada Morado, Lilia	179
Pérez Ascencio,	
Claudia Jazmin	144
Prieto Sandoval, Andres	139
Proo Perez, José Gerardo	42

► R

Ramírez Peña, Jaime	90
---------------------	----

ÍNDICE DE AUTORES

► Z

<i>Ramírez Sandoval,</i>		<i>Zaavala Silva, Misael</i>	139
<i>Francisco Javier</i>	179		
<i>Rentería Soto, Juan</i>	32		
<i>Reyes González, Edgar Arturo</i>	168		
<i>Ríos Marmolejo, César</i>	63		
<i>Rivero Corona,</i>			
<i>Michel Alejandro</i>	109, 115, 127, 133		
<i>Rodríguez Franco, Abel</i>	56, 63		
<i>Rodríguez Lozano,</i>			
<i>karla Verónica</i>	161		
<i>Rosales Escobedo,</i>			
<i>Pedro Francisco</i>	79		

► S

<i>Sáenz Esqueda,</i>			
<i>José Armando</i>	15, 32		
<i>Salgado Guzmán, Gerardo</i>	9, 26		
<i>Sánchez Rangel,</i>			
<i>Francisco Javier</i>	9, 26		
<i>Sánchez Segovía, Ricardo</i>	97		
<i>Segovía Ávila, Elda</i>	97, 103		
<i>Sellschopp Sánchez,</i>			
<i>Francisco Sergio</i>	109, 115, 122, 127, 133		
<i>Servín Martínez, Alberto</i>	90		
<i>Solis Robles, Pedro</i>	85		

► T

<i>Tello Mijares, Jesús Santiago</i>	168		
<i>Tobón Galicia, Lucila Guadalupe</i>	20		
<i>Torres Astorga, Gerardo Alfonso</i>	42		

► V

<i>Varela Frayre, Raul Alejandro</i>	139		
<i>Vargas Salas, Ricardo</i>	109, 127		
<i>Vega Luna, José Ignacio</i>	9, 26		
<i>Villalpando Jordán,</i>			
<i>Diana Elizabeth</i>	85		
<i>Villegas Alonso, Nidia</i>	74		

GUÍA PARA AUTORES

Se invita a todos los docentes, estudiantes e investigadores a enviar sus artículos de difusión científica y tecnológica en fechas programadas en la página Web de la presente revista. Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje claro, didáctico y accesible correspondiente al público objetivo, con un discurso que aproveche al máximo los recursos narrativos, literarios y gramaticales. Se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

Criterios editoriales (difusión)

- Sólo serán aceptados los trabajos que cumplan con los criterios y lineamientos indicados.
- Sólo se aceptan artículos originales, entendiéndose por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no se ha publicado o enviado a otras revistas.
- El artículo debe ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- El artículo debe ser ordenado. Separar las dimensiones del tema y evitar romper la línea de tiempo.
- Debe considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deben contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deben presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo por medio de la plataforma web <http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/> en formato “.doc”, así como el material gráfico, fichas biográficas de cada autor de máximo 100 palabras y carta firmada por todos los autores (formato en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor del ITSL.

- Los originales deberán tener una extensión máxima de seis páginas (incluyendo figuras y tablas) de acuerdo al formato que a continuación se especifica:
 - ⇒ Respetar el formato vigente para la redacción del artículo (disponible en página web)
 - ⇒ Tamaño carta; el margen superior deberá ser de 2.5 cm. y el resto de 2 cm.
 - ⇒ Título. Máximo dos renglones, tipografiado en altas y bajas, tipo Times New Roman a 24 puntos, con interlínea normal, en negritas.
 - ⇒ Nombre del autor o autores. En mayúsculas con alineación al margen derecho, misma fuente tipográfica en 12 puntos, asterisco sobrescrito al final.
 - ⇒ Adscripción. Colocarla en pie de página de la 2a. columna antecedida por un asterisco, en tipografía Times New Roman de 8 puntos.
 - ⇒ Cuerpo del texto. A dos columnas, con tipografía Times New Roman de 10 puntos, justificado.
 - ⇒ Resúmenes. No mayores de 100 palabras tanto en inglés como en español. Incluir a lo sumo cinco palabras clave tanto en inglés como en español para ser utilizadas en índices. Deben ubicarse al terminar el cuerpo y antes de las referencias. Misma tipografía que el cuerpo.
 - ⇒ Deberán ser numeradas y aparecerán en el orden que fueron citadas en el texto, utilizando la misma tipografía del cuerpo. Las fichas bibliográficas deberán contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre del libro o de la revista, lugar, empresa editorial, año de la publicación, volumen y número de páginas.
 - ⇒ Subtítulos. Tipografía Times New Roman, 10 puntos, en negritas.
 - ⇒ Notas al pie. Times New Roman, 8 puntos.
 - ⇒ Material gráfico (incluye figuras, imágenes y tablas). Mínimo dos, máximo cinco a una o dos columnas, máximo media página, todas las imágenes deberán ser de al menos 300 DPI.
 - ⇒ Pie de gráficos. Tipografía Times New Roman, itálica de 9 puntos.
 - ⇒ Deberán evitarse en lo posible las notas a pie de página.

Nota importante: Todas las colaboraciones, sin excepción, serán evaluadas; en el caso de los artículos de investigación (difusión) serán arbitrados por especialistas por área científica. Los criterios aplicables a esta clase de artículos serán: el rigor científico, la calidad y precisión de la información, el interés general del tema expuesto y la claridad del lenguaje.

En el caso de los artículos de difusión, serán evaluados por especialistas en el tema, quienes valorarán la pertinencia, el lenguaje y la calidad del contenido.

Todos los textos son sometidos a revisión y los editores no se obligan a publicarlos sólo por recibirlos.

Una vez aprobados, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.

La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.

Todos los artículos deberán remitirse por medio de la plataforma <http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/> para mayor información ponemos a su disposición el correo electrónico:

revistacid@itslerdo.edu.mx; o bien, a la siguiente dirección:

Revista CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

Edificio "F", Planta Alta

Av. Tecnológico 1555 Sur Col. Periférico

C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:

Tel: +52 (871) 7 25 23 71. extensión: 134

<https://www.lerdo.tecnm.mx/>

<http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/>



LA REVISTA CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO ES UNA REVISTA ANUAL DE DIFUSIÓN ELECTRÓNICA QUE TIENE COMO PROPÓSITO DIFUNDIR LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTO, EN LOS ÁMBITOS ACADÉMICO, CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL, QUE REPRESENTA UNA CONTRIBUCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.



<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>